

A.

1771
JAN.
18.

Math. A.

157th

Lockyer

<36605831990015

<36605831990015

Bayer. Staatsbibliothek

INTERNATIONALE
WISSENSCHAFTLICHE BIBLIOTHEK.
XXXV. BAND.

STUDIEN
ZUR
SPECTRALANALYSE.

VON

J. NORMAN LOCKYER,

MITGLIED DER ROYAL SOCIETY ZU LONDON, CORRESPONDIRENDES MITGLIED
DES INSTITUT DE FRANCE, ETC.

MIT 51 ABBILDUNGEN IN HOLZSCHNITT UND 8 TAFELN IN
PHOTOGRAPHIE, FARBENDRUCK UND HOLZSCHNITT.

AUTORISIRTE AUSGABE.



LEIPZIG:
F. A. BROCKHAUS.

1879.

24/11/78

303 H

211

INTERNATIONALE
WISSENSCHAFTLICHE BIBLIOTHEK.

XXXV. BAND.

INTERNATIONALE WISSENSCHAFTLICHE BIBLIOTHEK.

1. TYNDALL, J. Das Wasser in seinen Formen als Wolken und Flüsse, Eis und Gletscher. Mit 26 Abbildungen. 2. Aufl. 8. Geh. 4 M. Geb. 5 M.
2. SCHMIDT, O. Descendenzlehre und Darwinismus. Mit 26 Abbildungen. 2. verbesserte Auflage. Geh. 5 M. Geb. 6 M.
3. BAIN, A. Geist und Körper. Die Theorien über ihre gegenseitigen Beziehungen. Mit 4 Abbildungen. Geh. 4 M. Geb. 5 M.
4. BAGEHOT, W. Der Ursprung der Nationen. Betrachtungen über den Einfluss der natürlichen Zuchtwahl und der Vererbung auf die Bildung politischer Gemeinwesen. Geh. 4 M. Geb. 5 M.
5. VOGEL, H. Die chemischen Wirkungen des Lichts und die Photographie in ihrer Anwendung in Kunst, Wissenschaft und Industrie. Mit 96 Abbildungen in Holzschnitt und 6 Tafeln. Geh. 6 M. Geb. 7 M.
6. 7. SMITH, E. Die Nahrungsmittel. Zwei Theile. I. Feste Nahrungsmittel aus dem Thier- und Pflanzenreich. II. Flüssige und gasige Nahrungsmittel. Mit 19 Abbildungen. Jeder Theil geh. 4 M.; geb. 5 M.
8. LOMMEL, E. Das Wesen des Lichts. Gemeinfassliche Darstellung der physikalischen Optik in fünfundzwanzig Vorlesungen. Mit 188 Abbildungen und einer farbigen Spectraltafel. Geh. 6 M. Geb. 7 M.
9. STEWART, B. Die Erhaltung der Energie, das Grundgesetz der heutigen Naturlehre, gemeinfasslich dargestellt. Mit 14 Abbild. Geh. 4 M. Geb. 5 M.
10. PETTIGREW, J. B. Die Ortsbewegung der Thiere. Nebst Bemerkungen über die Luftschiffahrt. Mit 131 Abbildungen. Geh. 4 M. Geb. 5 M.
11. MAUDSLEY, H. Die Zurechnungsfähigkeit der Geisteskranken. Geh. 5 M. Geb. 6 M.
12. BERNSTEIN, J. Die fünf Sinne des Menschen. Mit 91 Abbildungen. Geh. 5 M. Geb. 6 M.
13. DRAPER, J. W. Geschichte der Conflictte zwischen Religion und Wissenschaft. Geh. 6 M. Geb. 7 M.
14. 15. SPENCER, H. Einleitung in das Studium der Sociologie. Herausgegeben von Dr. Heinrich Marquardsen. 2 Theile. Geh. 8 M. Geb. 10 M.
16. COOKE, J. Die Chemie der Gegenwart. Mit 31 Abbildungen. Geh. 5 M. Geb. 6 M.
17. FUCHS, K. Vulkane und Erdbeben. Mit 36 Abbildungen und einer lithographirten Karte. Geh. 6 M. Geb. 7 M.
18. VAN BENEDEN, P. J. Die Schmarotzer des Thierreichs. Mit 83 Abbildungen. Geh. 5 M. Geb. 6 M.
19. PETERS, K. F. Die Donau und ihr Gebiet. Eine geologische Skizze. Mit 71 Abbildungen. Geh. 6 M. Geb. 7 M.
20. WHITNEY, W. D. Leben und Wachsthum der Sprache. Uebersetzt von Prof. A. Leskien. Geh. 5 M. Geb. 6 M.
21. JEVONS, W. S. Geld und Geldverkehr. Geh. 5 M. Geb. 6 M.
22. DUMONT, L. Vergnügen und Schmerz. Zur Lehre von den Gefühlen. Geh. 5 M. Geb. 6 M.
23. SCHÜTZENBERGER, P. Die Gärungserscheinungen. Mit 28 Abbildungen. Geh. 5 M. Geb. 6 M.
24. BLASERNA, P. Die Theorie des Schalls in Beziehung zur Musik. Geh. 4 M. Geb. 5 M.
25. BERTHELOT, M. Die chemische Synthese. Geh. 5 M. Geb. 6 M.
26. LUYSS, J. Das Gehirn, sein Bau und seine Verrichtungen. Mit 6 Abbildungen. Geh. 5 M. Geb. 6 M.
27. ROSENTHAL, I. Allgemeine Physiologie der Muskeln und Nerven. Mit 75 Abbildungen. Geh. 5 M. Geb. 6 M.
28. BRÜCKE, E. Bruchstücke aus der Theorie der bildenden Künste. Mit 39 Abbildungen. Geh. 4 M. Geb. 5 M.
29. MEYER, H. Grundzüge des Strafrechts nach der deutschen Gesetzgebung unter Berücksichtigung ausländischer Rechte. Geh. 5 M. Geb. 6 M.
30. 31. DE QUATREFAGES, A. Das Menschengeschlecht. 2 Theile. Geh. 9 M. Geb. 11 M.
32. 33. BÖHMERT, V. Die Gewinnbetheiligung. Untersuchungen über Arbeitslohn und Unternehmergewinn. 2 Theile. Geh. 11 M. Geb. 13 M.
34. SECCHI, A. Die Sterne. Grundzüge der Astronomie der Fixsterne. Mit 78 Abbildungen in Holzschnitt und 9 Tafeln in Farbendruck, Lithographie und Stahlstich. Geh. 8 M. Geb. 9 M.

STUDIEN
ZUR
SPECTRALANALYSE.

VON

J. NORMAN LOCKYER,

MITGLIED DER ROYAL SOCIETY ZU LONDON, CORRESPONDIRENDES MITGLIED
DES INSTITUT DE FRANCE, ETC.

MIT 51 ABBILDUNGEN IN HOLZSCHNITT UND 8 TAFELN IN
PHOTOGRAPHIE, FARBENDRUCK UND HOLZSCHNITT.

AUTORISIRTE AUSGABE.



LEIPZIG:
F. A. BROCKHAUS.

1879.



Das Recht der Uebersetzung ist vorbehalten.

Dif.

40



9

8

7

6

5

4

3

2

1

39



Ref.

INHALT.

ERSTES KAPITEL.

Wellen.

		Seite
§.	1. Einleitung	1
§.	2. Wasserwellen	5
§.	3. Schallwellen	8
§.	4. Lichtwellen	16
§.	5. Theorie des Aethers	21
§.	6. Wellenlängen	24
§.	7. Durchgang des Lichts durch die Materie	26
§.	8. Wirkung des Prismas	27
§.	9. Rückblick	31
§.	10. Absorption des Lichts	34
§.	11. Die Grundlage der Spectralanalyse	36

ZWEITES KAPITEL.

Die Spectralapparate.

§.	1. Anwendung der Linse	43
§.	2. Strahlungserscheinungen	51
§.	3. Absorptionserscheinungen	59

DRITTES KAPITEL.

Photographie des Spectrums.

§.	1. Niépce, Herschel und Draper	70
§.	2. Die ersten zuverlässigen Spectra	72
§.	3. Das ultraviolette Spectrum	75

	Seite
§. 4. Dr. Miller's Untersuchungen	79
§. 5. Mascart's Tafeln	83
§. 6. Rutherford's Photographie des Sonnenspectrums	84
§. 7. Anwendung eines zusammengesetzten Spalts . .	85
§. 8. Verfahren des Verfassers	88
§. 9. Ergebnisse dieses Verfahrens	94
§. 10. Das Sonnenspectrum	94
§. 11. Photographie der Sternspectra	97
§. 12. Die Aufgabe der Zukunft	98

VIERTES KAPITEL.

Anwendung der Spectralanalyse auf die Molekulartheorie.

§. 1. Strahlung	109
---------------------------	-----

FÜNFTES KAPITEL.

Lange und kurze Linien.

§. 1. Aeltere Beobachtungen	131
§. 2. Lange und kurze Linien im Sonnenspectrum . .	133
§. 3. Weitere Beobachtungen	137

SECHSTES KAPITEL.

Die Spectra der Salze.

§. 1. Blei	141
§. 2. Barium und Strontium	142
§. 3. Magnesium	143
§. 4. Natrium und Lithium	144
§. 5. Verhalten der durch die Flamme und schwache Elektricität erzeugten Spectra	146
§. 6. Aehnlichkeit der Spectra der Salze in Luft . . .	148

SIEBENTES KAPITEL.

Dissociation.

§. 1. Das Wesen der chemischen Wirkungen	152
§. 2. Wirkung der Wärme	154
§. 3. Elektricität	155
§. 4. Das Spectroskop und die Dissociation	157

	Seite
§. 5. Die Spectra bekannter zusammengesetzter Körper	162
§. 6. Mitscherlich's erste Abhandlung	164
§. 7. Clifton und Roscoe	165
§. 8. Mitscherlich's zweite Abhandlung	167
§. 9. Bestätigung durch die langen und kurzen Linien	168
§. 10. Rückblick	171
§. 11. Das Problem der Dissociation der sogenannten Elemente	172

ACHTES KAPITEL.

Versuch einer quantitativen Spectralanalyse.

§. 1. Einleitung	181
§. 2. Die ersten Versuche	190
§. 3. Zweite Versuchsreihe	192
§. 4. Weitere Beobachtungen	194
§. 5. Versuche mit andern Legirungen	195
§. 6. Goldkupferlegirungen	198
§. 7. Künftige Untersuchungen	204

NEUNTES KAPITEL.

Ueber das Zusammenfallen von Spectrallinien.

§. 1. Allgemeine Verbreitung von Verunreinigungen. .	207
§. 2. Allgemeine Sätze über das Zusammenfallen der Spectrallinien.	209
§. 3. Erkennung der Linien der Verunreinigungen . .	211

ZEHNTES KAPITEL.

Die in der Sonne vorkommenden Elemente.

§. 1. Kirchhoff's Untersuchung	214
§. 2. Angström und Thalén	217
§. 3. Untersuchung der wirklich umgekehrten Linien .	219
§. 4. Ergebniss der vorläufigen Untersuchung	221
§. 5. Weitere Untersuchungen	222
§. 6. Mitscherlich's Beobachtungen	226

VERZEICHNISS DER HOLZSCHNITTE.

Figur	Seite
1. Durchkreuzung zweier Wellensysteme	5
2. Entstehung der Wellen durch Bewegung von Wassertheilchen	6
3. Graphische Methode, die Schwingungen einer Stimmgabel zu beobachten	7
4. Kugelschalen verdichteter und verdünnter Luft, erzeugt durch eine Schallwelle	8
5. Fortpflanzung von Schallwellen in einem Cylinder .	9
6. Schallwellen	10
7. 8. 9. Weinhold's Verfahren zur Demonstration der Verdichtung und Verdünnung in einer Schallwelle	11. 12. 13
10. Schallwellen von verschiedener Länge und Weite . .	14
11. Wellensysteme	24
12. Prisma	28
13. Normale Dispersion durch Glas und abnorme Dispersion durch Fuchsin	29
14. Das Zerlegungsspectroskop	45
15. Copie einer Photographie des Funkenspectrums zwischen Polen von Zink und Cadmium	46
16. Horizontaler Natriumflammenbogen auf einen verticalen Spalt geworfen	47
17. Lange und kuze Linien von Strontium und Calcium	48
18. Anwendung der elektrischen Lampe zur Beobachtung langer und kurzer Linien	50
19. Aluminiumbecherchen zur Erzeugung der Salzspectra	53
20. Aluminiumbecherchen im Auslader befestigt	54
21. Methode zur Beobachtung der Spectra von Salzlösungen	57
22. Untersuchung der Spectra von Salzlösungen durch Einblasen derselben in die Flamme	58
23. Verschiedene Absorptionsspectra	60
24. Absorption durch den Lackmusfarbstoff bei verschiedener Dicke der Schicht	62
25. Apparat zur Beobachtung der Absorptionsspectra metallischer Dämpfe	63
26. Apparat zur Beobachtung der Spectra metallischer Dämpfe mit der Knallgasflamme	66
27. Copie von Becquerel's Photographie des Sonnenspectrums	73
28. Sonnenspectrum mit den von Mascart bestimmten Wellenlängen	73

Figur	Seite
29. Die Linien <i>H</i> im blauen Ende des Sonnenspectrums nach einer Photographie des Verfassers	77
30. Miller's Apparat zum Photographiren des Spectrums	79
31. Ultraviolette Spectra einiger Elemente in Luft, nach Miller	80
32. Länge des ultravioletten Spectrums von Platin, verglichen mit der Länge des Sonnenspectrums, nach Miller	82
33. Spalt zur Aufnahme von fünf Photographien auf derselben Platte	87
34. Apparat zum Photographiren der Spectra	89
35. Andere Ansicht desselben Apparats	90
36. Einrichtung zum Photographiren des Sonnenspectrums allein	92
37. Einrichtung zum Photographiren langer und kurzer Linien	92
38. Einrichtung zum gleichzeitigen Photographiren des Sonnenspectrums und eines Metallspectrums	92
39. Die chemische Wirkung des Lichts auf Silbersalze	100
40. Copie von Tait's Photographie des elektrischen Funkens in Luft	120
41. 42. Wirkung des elektrischen Funkens auf die Moleküle des Sauerstoffs	121
43. Copie von Miller's Photographie des Cadmiumspectrums	132
44. Wiederholung von Fig. 15	135
45. Spectrum von Cadmium und Blei	135
46. Spectra der Strontiumsalze	170
47. Das blaue Ende des Calciumspectrums unter verschiedenen Bedingungen	174
48. Halter für Legirungen	200
49. Mikrometerablesungen. Zinkcadmiumlegirungen	202
50. Curve A. Goldkupferlegirungen	203
51. Curve B. Goldkupferlegirungen	203

TAFELN.

(NB. In den Reproduktionen der Spectralphotographien befindet sich das Ende der am schwächsten brechbaren [rothen] Strahlen oben.)

	Seite
I. Die Linien <i>H</i> und <i>K</i> im Sonnenspectrum (Wellenlänge 3,900—4,000). Titelbild.	
II. Farbige Spectraltafel	40
III. Vergleichung der Spectra von Titanium und Vanadium (Wellenlänge 4,100—4,300)	87
IV. Vergleichung des Sonnenspectrums mit den Spectren von Eisen und Kobalt (Wellenlänge 3,890—4,050 und 3,890—4,120)	94
V. Ein Theil des Kohlenstoffspectrums (Wellenlänge 4,145—4,245).	116
VI. Absorption des Mangandampfs (Wellenlänge 3,980—4,080)	124
VII. Vergleichung der Spectra des Aluminiums, Calciums und des Meteoriten von Lenarto (Wellenlänge 3,930—4,300)	210
VIII. Lange und kurze Linien im Sonnenspectrum . .	220

ERSTES KAPITEL.

Wellen.

§. 1. *Einleitung.*

Die Thätigkeit des wahren Forschers besteht in einem ununterbrochenen Streben nach einer bessern und genauern Kenntniss des Planeten, an den sein Schicksal geknüpft ist, und des Weltalls, von welchem dieser Planet einen verschwindend kleinen Theil bildet. Der einzige Weg, der zur Erreichung des Ziels führt, besteht in einem möglichst langsamen und daher sichern Fortschreiten auf dem dunkeln, noch nicht betretenen Boden, welcher das Gebiet des Bekannten nach allen Richtungen hin umgibt. Das wahre wissenschaftliche Verfahren ist frei von Zauberei und Aberglauben. Es gibt keine besondere Menschenklasse, der es verliehen wäre, eine genauere Kenntniss der Schönheiten und Geheimnisse der Natur zu erreichen als andere. Jeder von uns kann, wenn er will, durch eigene Thätigkeit und eigenes Nachdenken wenigstens den Kreis seiner eigenen Kenntnisse erweitern und so das Weltall, wenn nicht für andere, doch jedenfalls für sich mehr und mehr verschönern.

In der Geschichte des Menschengeschlechts tritt nun zuweilen der Fall ein, dass eine bestimmte Generation eine besonders reiche Ernte auf dem Gebiete der wissenschaftlichen Erkenntniss hält, und zwar bildet in der Regel ein scheinbar unbedeutender Gedanke den Ausgangspunkt solcher Fortschritte.

So erfand z. B. ein Holländer, während er Versuche mit zwei Brillengläsern anstellte, das Fernrohr. Und welche Erweiterung hat nicht das Gebiet des Bekannten und des Erkennbaren durch die Erfindung dieses herrlichen Instruments erfahren. Newton befand sich eines Tags in einem Garten und beobachtete das Niederfallen eines Apfels. Die Frucht des Nachdenkens, zu welchem ihn dieser einfache Vorgang anregte, war die Theorie der allgemeinen Schwere. Jeder Schritt dieser Art hat die einzelnen Theile des Weltalls fester zusammengefügt, dasselbe mehr und mehr zu einem einheitlichen Ganzen gemacht und die wunderbare Schönheit seines Baues dem menschlichen Geiste enthüllt.

Spätern Zeiten erscheint unsere oder die nächste Generation vielleicht ebenso begünstigt wie diejenige, welche die Erfindung des Fernrohrs oder die unsterbliche Entdeckung Newton's erlebte. Denn wie durch die Erfindung des Fernrohrs das Weltall eine unermessliche Ausdehnung gewann, und wie uns die Entdeckung Newton's lehrte, dass überall dieselben Kräfte in derselben Weise wirken, so lehrt uns jetzt das Spectroskop, dass überall die gleiche Materie in gleicher Weise wirkt, sodass wir Materie und Energie, falls dieselben nicht identisch sind, als die Grundsteine des Weltalls bezeichnen können.

Je neuer die Wissenschaft ist, mit desto grösserer Vorsicht müssen wir uns in derselben bewegen. In der neuesten aller Wissenschaften, die uns in den Stand setzt die Materie, wo sie sich auch befinden mag, von einem ganz neuen Gesichtspunkt aus zu betrachten, muss daher der Forscher seine Vorsicht verdoppeln, und diejenigen, welche ihm folgen wollen, müssen sorgfältig darauf bedacht sein, stets festen Boden unter den Füßen zu haben. Glücklicherweise haben die Gesetze und Erscheinungen der Natur für uns eine solche Einheit in ihrer Mannichfaltigkeit und sind durch so zahlreiche Beziehungen untereinander verbunden, dass wir im Stande sind, in einem neuen Zweig der Wissenschaft

unsere Begriffe durch Bilder zu unterstützen, die ältern Wissenschaften oder den Erscheinungen des alltäglichen Lebens entlehnt sind. Dies ist auch namentlich in derjenigen Wissenschaft der Fall, deren Betrachtung wir uns jetzt zuwenden wollen.

Wir beginnen mit einigen einfachen Grundbegriffen, deren richtiges Verständniss uns zu weitem Schlüssen befähigen wird.

Durch die Eisenbahnen, Posten und elektrischen Telegraphen wird uns unaufhörlich der Vorgang vergegenwärtigt, dass eine Person oder ein Ding etwas absendet und irgendwo, sei es nah oder fern, eine andere Person oder ein Ding empfängt, und dass sich zwischen diesen beiden Personen oder Dingen ein Etwas befindet, welches den Uebergang des abgesandten Gegenstandes von einem Ort zum andern ermöglicht. Dieser einfache Vorgang, der im allgemeinen kein besonderes wissenschaftliches Interesse bietet, setzt uns in den Stand, zwei wesentlich verschiedene Arten des Uebergangs von einem Ort zum andern zu unterscheiden. Wenn von zwei spielenden Knaben der eine dem andern einen Ball zuwirft, so haben wir einen Absender, einen Empfänger und einen Gegenstand, welcher körperlich von dem erstern zum letztern übergeht. Dasselbe ist bei einem mit der Eisenbahn versendeten Packet der Fall, nicht dagegen bei einer telegraphischen Depesche. In einem Telegraphenbureau können wir zwei Instrumente bemerken, von denen das eine zum Absenden, das andere zum Empfangen der Nachricht dient. Zwischen der Station, welche eine Depesche absendet, und derjenigen, welche dieselbe empfängt, befindet sich ein Draht. Wir wissen, dass nicht ein Gegenstand körperlich den Draht entlang befördert wird, etwa wie der Ball von dem einen Spieler zum andern oder ein Gepäckstück durch den Eisenbahnzug von einem Ort nach einem andern. Wir haben es hier mit einer Art von Bewegung zu thun, über deren Wesen die Wissenschaft noch nicht vollkommen im Klaren ist, die wir uns aber so vorstellen,

dass es ein Zustand von Dingen ist, welcher sich fortpflanzt. Der Draht ist erforderlich, um die Nachricht zu befördern, und doch findet diese Beförderung in anderer Weise statt, als die Beförderung eines Gepäckstücks mit der Eisenbahn.

Wählen wir ein anderes Beispiel. Ich nehme an, ich verbrenne mir den Fuss und ziehe denselben sofort in die Höhe. Damit ich mir dessen bewusst werde, dass ich meinen Fuss verbrannt habe, muss eine Nachricht von dem Fuss nach dem Gehirn gelangen. Ebenso muss dann eine Nachricht vom Gehirn nach dem Fuss gelangen, welche denselben veranlasst, seine Stellung so zu verändern, dass er nicht noch mehr verbrannt wird. Man ist jetzt allgemein der Ansicht, dass diese Beförderung von Nachrichten nicht durch Elektrizität vermittelt wird, dass indessen bei diesen Vorgängen etwas im Spiele ist, was grosse Aehnlichkeit mit der Elektrizität hat. Niemand wird annehmen, dass sich der Schmerz den Körper hinauf- und wieder hinab bewegt; es ist vielmehr ein Zustand, welcher sich von dem gereizten Nerv des Fusses nach dem Gehirn fortpflanzt. Ein anderer Zustand ist es, welcher sich vom Gehirn längs einer andern Nervenkette zurück nach dem Fusse hin bewegt. Ein Seil bietet uns ein vortreffliches Mittel, um uns den Vorgang zu versinnlichen. Durch einen Schlag auf ein gespanntes Seil können wir den unter den Namen einer Welle bekannten Zustand erzeugen, welcher sich längs des Seils bewegt, ohne dass dieses selbst als Ganzes in Thätigkeit ist. Diese Erscheinung wird es uns erleichtern, uns eine richtige Vorstellung von dem Zustand zu machen, welcher längs eines Drahtes oder eines Nerven wirkt und entweder eine telegraphische Nachricht oder jene Nerventhätigkeit erzeugt, welche die Thätigkeit des Gehirns verursacht.

§. 2. *Wasserwellen.*

Wir wollen uns zunächst etwas eingehender mit dem Wesen einer Welle beschäftigen. Werfen wir einen Stein in ein ruhiges Wasser, so beobachten wir eine schöne, überaus lehrreiche Erscheinung. Die Stelle,

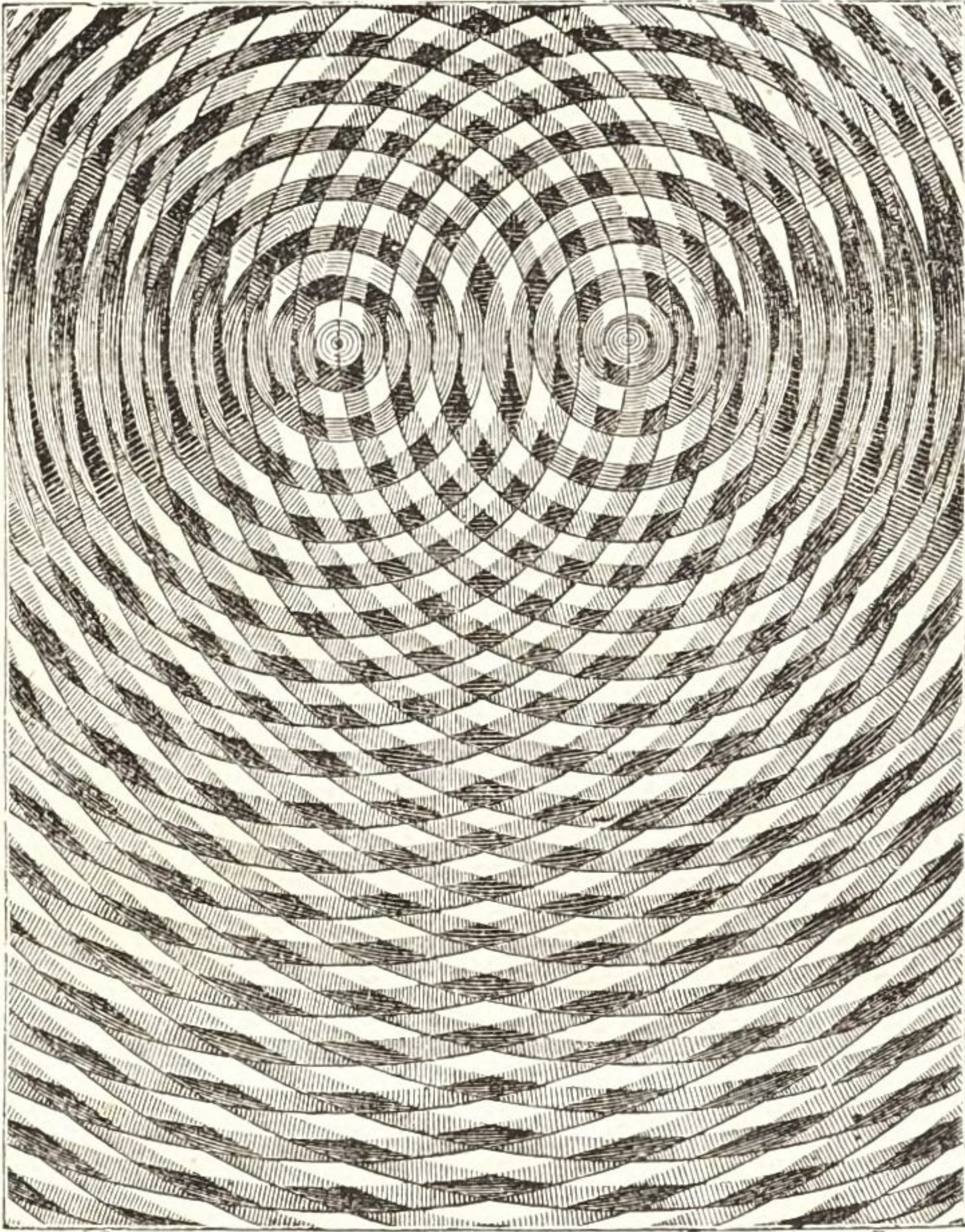


Fig. 1. Durchkreuzung zweier Wellensysteme.

an welcher der Stein in das Wasser fiel, ist sofort von jener Wassererhöhung umgeben, die man als Welle bezeichnet und die auf der Oberfläche des Wassers fortschreitet, indem sie sich gleichmässig nach allen Richtungen entfernt. Auf die erste Welle folgt eine zweite, auf die zweite eine dritte, und bald beobachten wir

eine ganze Reihe kreisförmiger concentrischer Wellen, die sich alle mit grosser Regelmässigkeit bewegen.

Was ist der Fall, wenn wir gleichzeitig zwei Steine in nicht allzu grosser Entfernung in das Wasser werfen? Wir erhalten zwei Systeme kreisförmiger Wellen, von denen sich jedes vollkommen unabhängig von dem andern ausdehnt. Wir beobachten die in Fig. 1 abgebildete Erscheinung.

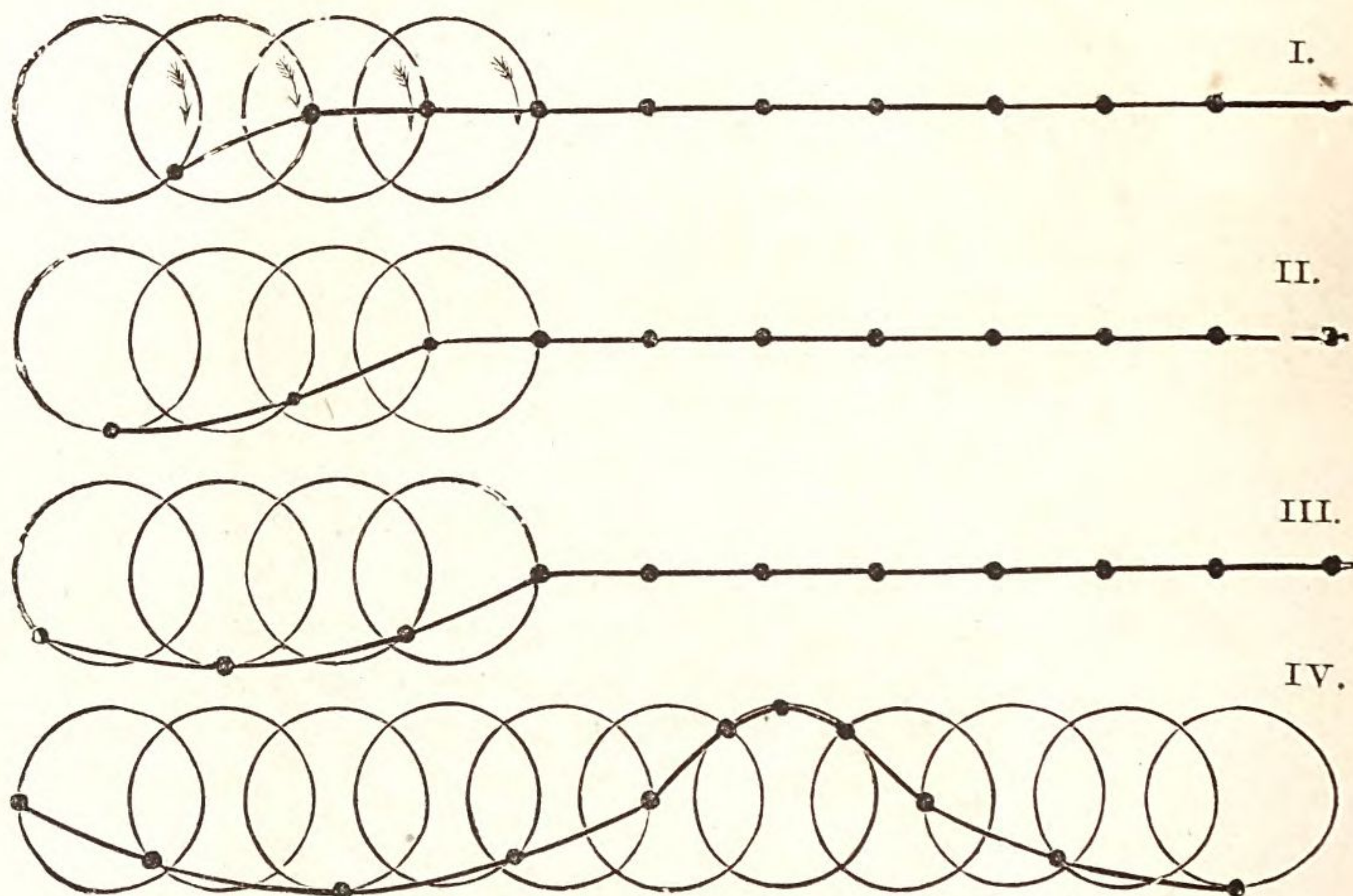


Fig. 2. Entstehung von Wellen durch kreisförmige Bewegung der einzelnen Wassertheilchen in einer verticalen Ebene.

I. Ein Theilchen in Bewegung. II. Zwei Theilchen in Bewegung. III. Drei Theilchen in Bewegung. IV. Vollständige Welle und Bewegung ihrer Elemente.

Die Erscheinung macht den Eindruck, als ob ein wirkliches Ausströmen des Wassers aus der durch den Stein hervorgebrachten Vertiefung stattfände. Streuen wir indessen Papierschnitzel oder andere leichte Körperchen auf die Oberfläche des Wassers, bevor wir den Stein hineinwerfen, so überzeugen wir uns, dass nicht das Wasser, sondern nur die Form der Welle nach aussen fortschreitet. Jedes einzelne Wassertheilchen be-

wegt sich in einer kreisförmigen oder elliptischen Bahn in einer verticalen Ebene, die in der Richtung der fort-

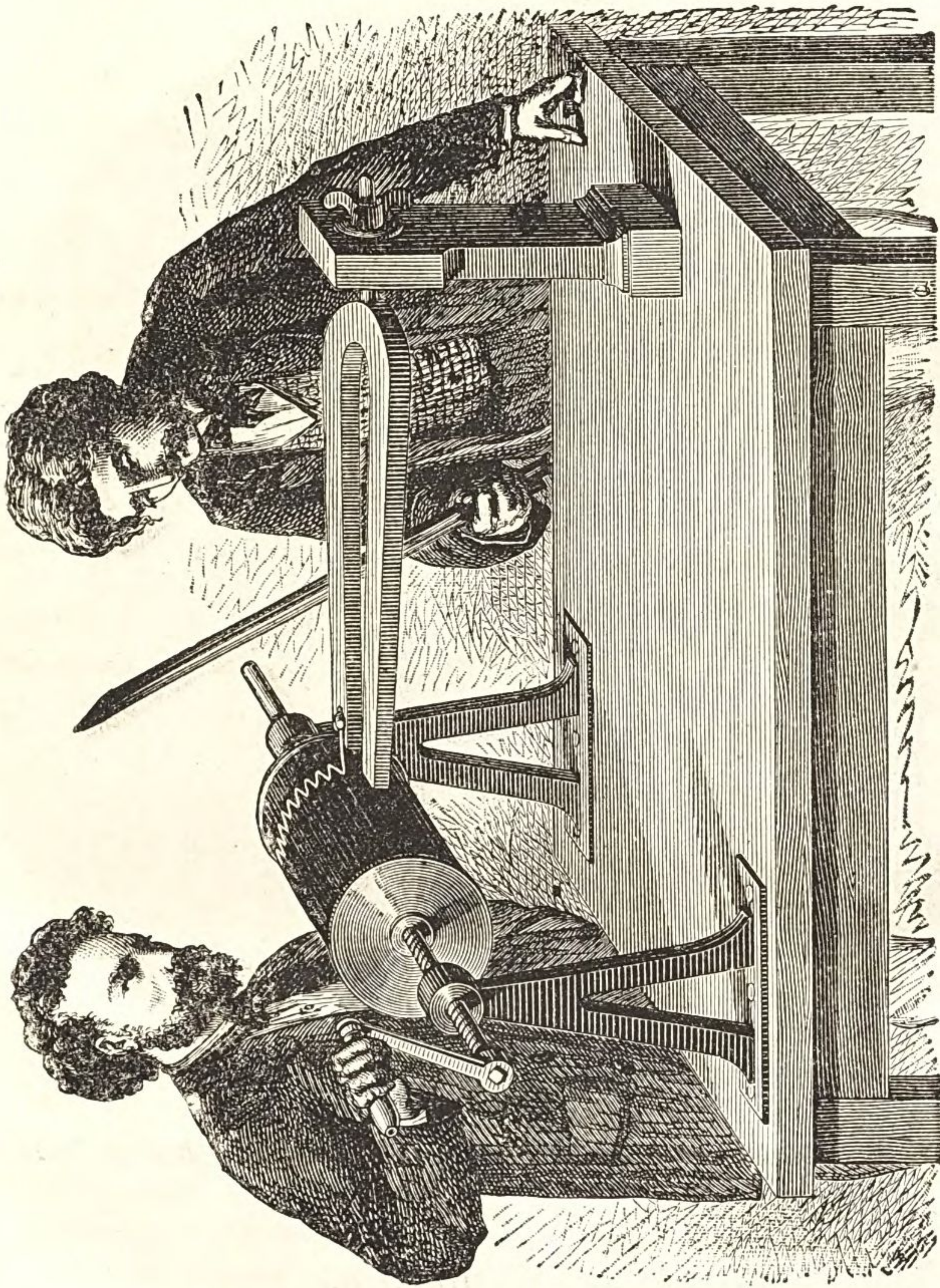


Fig. 3. Graphische Methode, die Schwingungen einer tönenden Stimmgabel zu beobachten.

schreitenden Bewegung der Welle liegt, sodass es nach Vollendung einer jeden Schwingung wieder an seine ursprüngliche Stelle kommt. Nur die Phase schreitet

fort. Die Art und Weise, in welcher dies Fortschreiten stattfindet, geht aus Fig. 2 hervor.

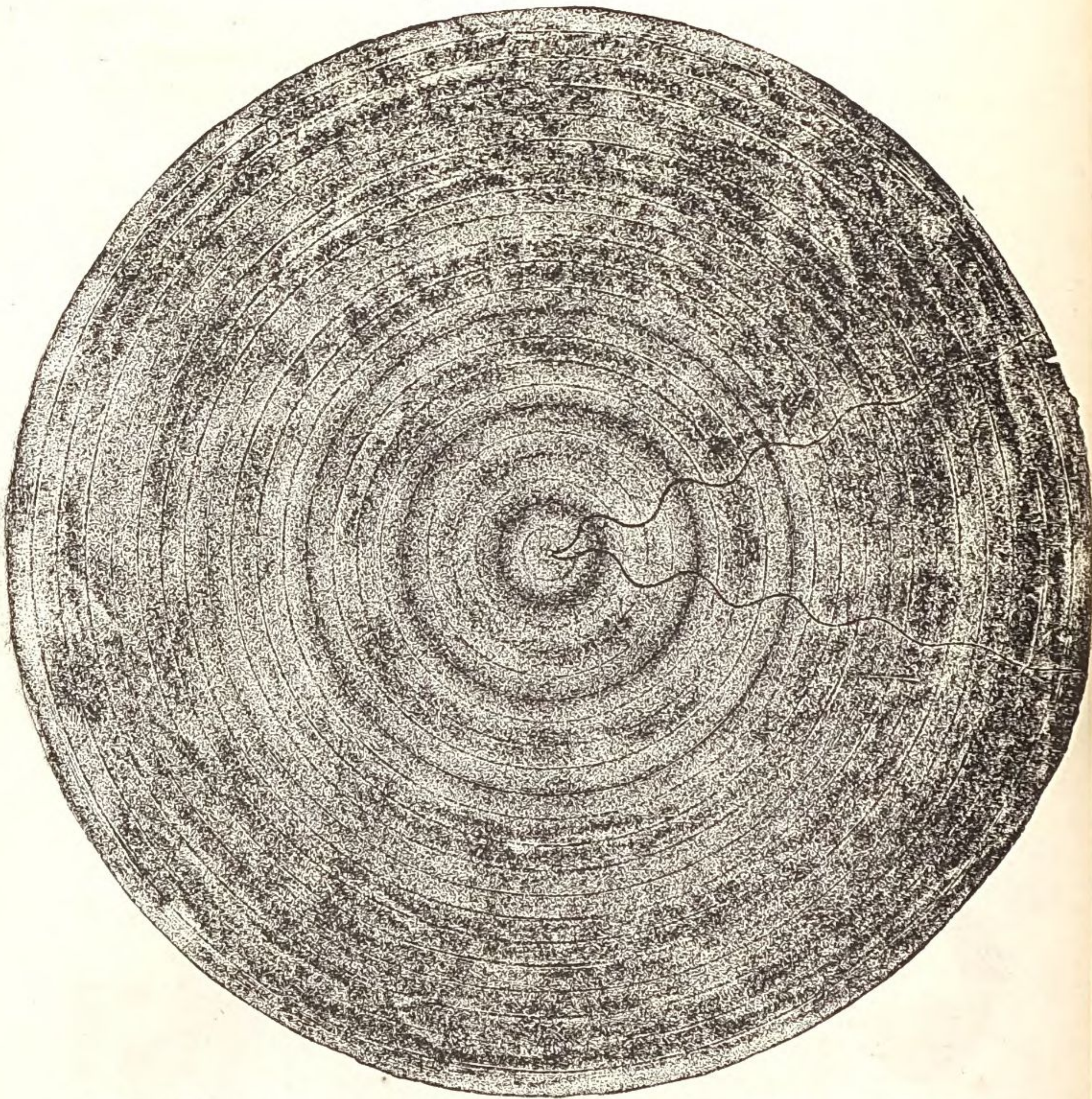


Fig. 4. Kugelschalen verdichteter und verdünnter Luft, erzeugt durch eine Schallwelle.

§. 3. Schallwellen.

Wenden wir uns nunmehr zu einer andern Art von Bewegung, von zwei zu drei Dimensionen, von der Oberfläche des Wassers zur Luft.

Wir hören den Knall einer Kanone, das Pfeifen einer Locomotive oder ein anderes Geräusch, welches das Ohr trifft. Auf welche Weise wird aber das Ohr getroffen? Niemand wird glauben, dass der Knall von der Kanone oder der Ton von der Locomotivpfeife wie ein gewaltiger Windstoss zum Ohr kommt. Wäre dies der Fall, so müssten wir wirklich einen Windstoss empfinden. Indessen empfinden wir bekanntlich nichts Derartiges. Wir haben es also hier nicht mit dem Uebergang eines körperlichen Objects, wie im Falle des Ballspiels, sondern nur mit dem Uebergang eines Zustandes von dem tönenden Körper zur wahrnehmenden Person zu thun. Das Mittel, in welchem die Fortpflanzung des Schalls stattfindet, ist die Luft. Ein tönender Körper z. B., der sich in der Mitte eines Raums befindet,

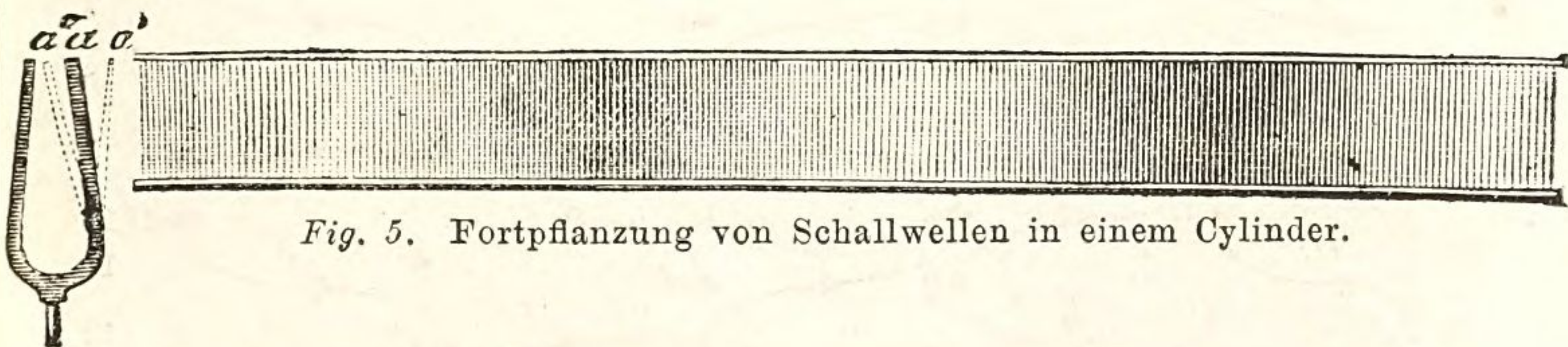


Fig. 5. Fortpflanzung von Schallwellen in einem Cylinder.

muss Schallwellen nach allen Richtungen aussenden, da der Ton nach oben, nach unten und nach allen andern Richtungen wahrgenommen wird. Benutzen wir zur Erzeugung einer Schallschwingung eine Stimmgabel und befestigen an dem einen Zinken derselben ein Spiegelchen auf welches ein kräftiger Lichtstrahl fällt, so bemerken wir, wenn die Gabel tönt, die Schwingungen derselben deutlich an der Bewegung des vom Spiegelchen reflectirten Lichtstrahls. Wird die Stimmgabel bewegt, so erhalten wir auf dem Schirme, auf welchen der Lichtstrahl auffällt, eine Lichterscheinung, die uns an das schwingende Seil erinnert. In der in Fig. 3 angedeuteten Weise lässt sich durch die schwingende Gabel auf einem geschwärzten rotirenden Cylinder eine Wellenlinie erzeugen.

Ebenso wie nun bei einer Wasserwelle durch die Schwingungen der einzelnen Theilchen erhöhte und vertiefte Ringe auf der Oberfläche gebildet werden, so erzeugt die Bewegung der Lufttheilchen, welche die Schallschwingungen vom tönenden Körper zum Ohr fortpflanzen, Kugelschalen von verdichteter und verdünnter Luft indem sich die einzelnen Lufttheilchen bald gegeneinander bewegen, bald voneinander entfernen. Der Zu-

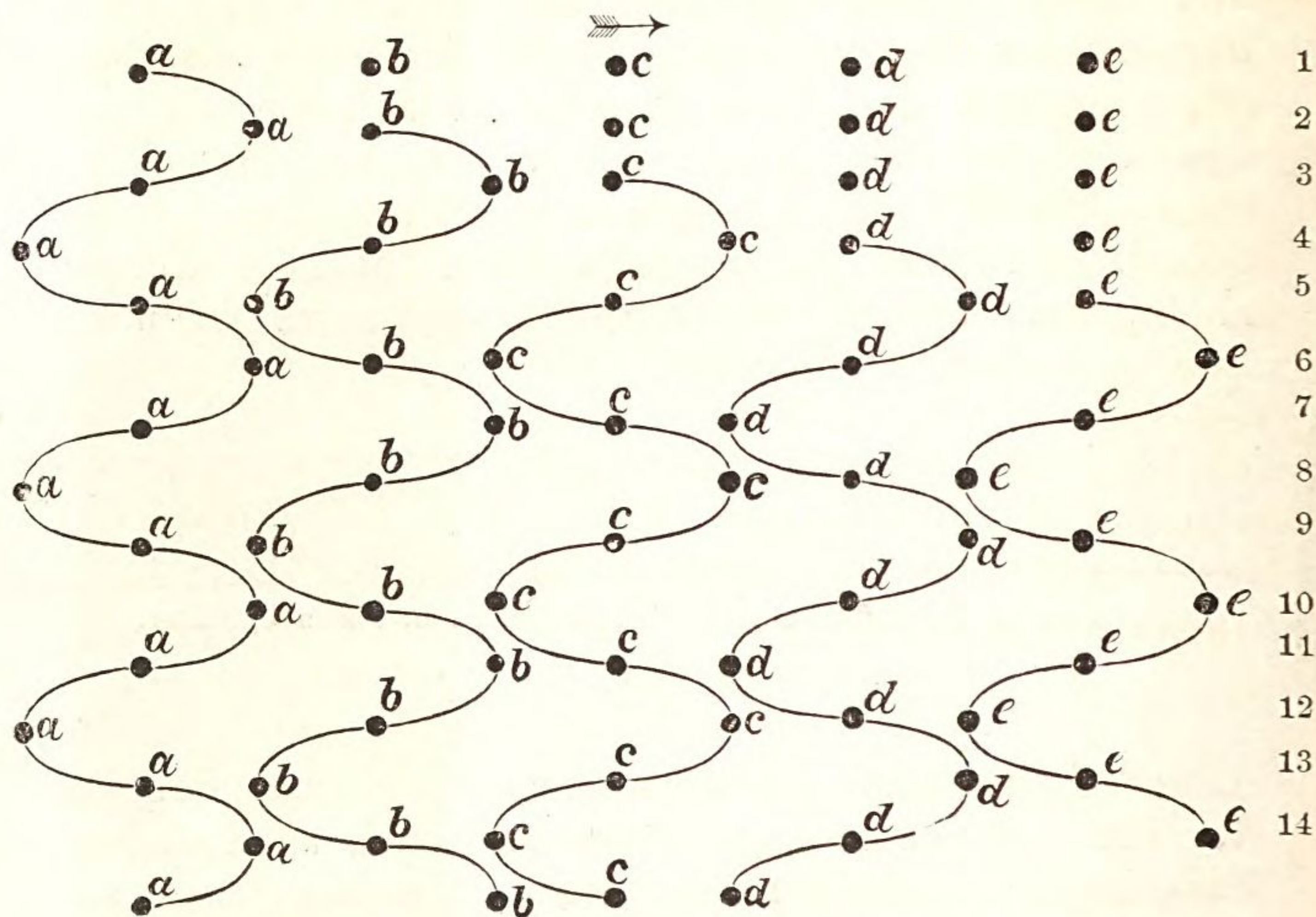


Fig. 6. Schallwellen. Lufttheilchen *a*, *b*, *c*, *d*, *e* sind in Stellung 1 in Ruhe. Die übrigen Stellungen zeigen die Lage der Theilchen, wenn sie durch eine Reihe von Stößen von links her in Bewegung gesetzt werden. In Stellung 2 z. B. hat ein Theilchen, in Stellung 3 haben zwei Theilchen ihre Schwingungen begonnen, während sie in Stellung 6 sämtlich in Bewegung sind.

stand, welcher beim Schall thätig ist, ist also ein Zustand der Verdichtung und Verdünnung der Luft. Doch ist die Bewegung des Lufttheilchens von der Bewegung des Wassertheilchens verschieden, indem es sich in der Richtung, in welcher sich der Schall fortpflanzt, vorwärts und rückwärts bewegt, nicht wie das Wassertheilchen senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung der Welle.

Aus nebenstehender Fig. 6 geht hervor, wie dadurch, dass jedes folgende Theilchen seine Bewegung etwas später beginnt, Verdichtungen und Verdünnungen erzeugt werden. Infolge der pendelartigen Schwingungen der Moleküle ändern sich die relativen Stellungen derselben ununterbrochen.

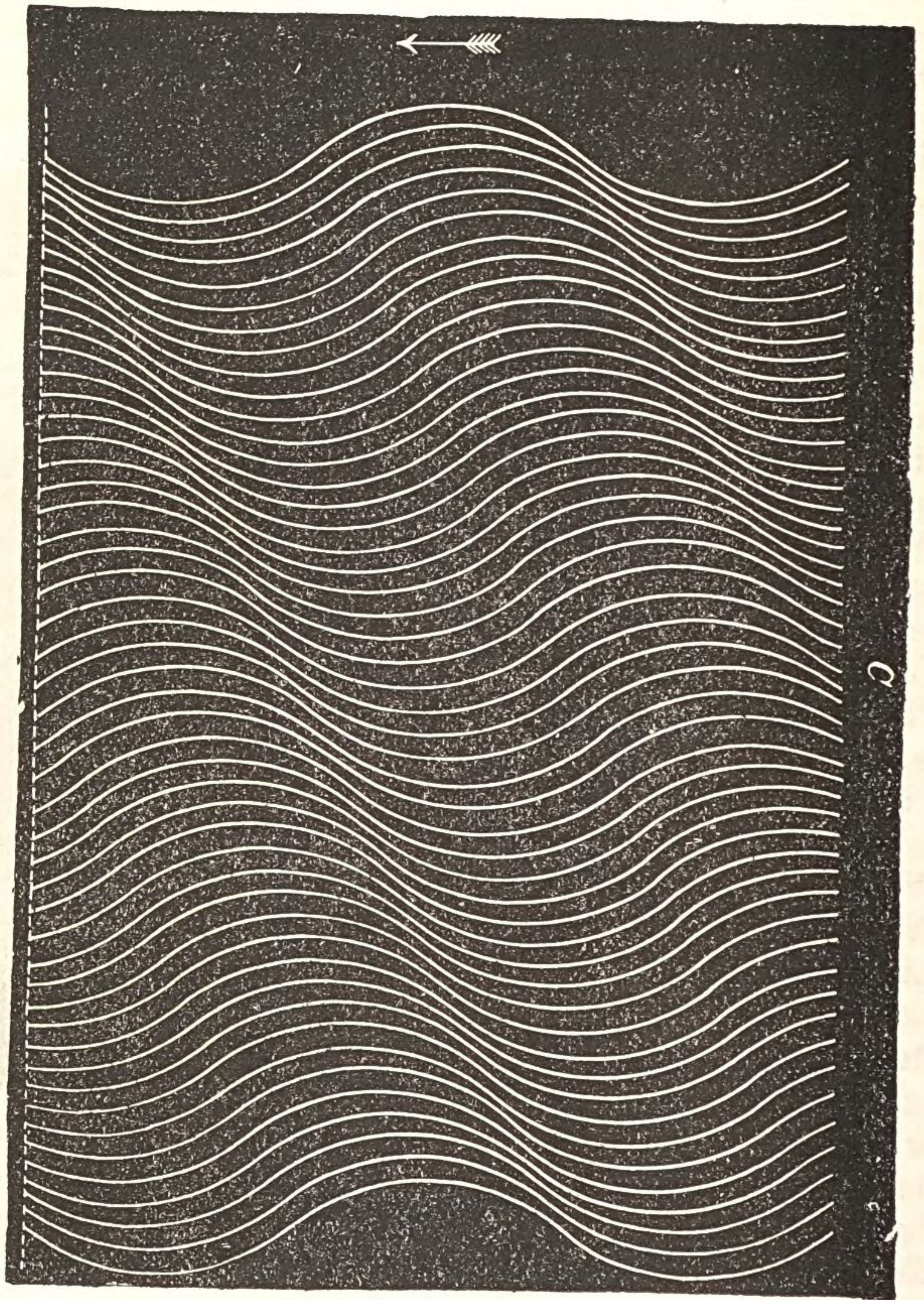
Professor Weinhold hat in seiner Experimentalphysik ein zweckmässiges Verfahren angegeben, durch welches man sich ein anschauliches Bild von der Bewegung machen kann, welche in einer Schallwelle vor sich geht. Nehmen wir an, alle Theilchen hätten, wie in Fig. 6, ihre Bewegung begonnen, und stellen wir die Schwingung eines einzelnen Theilchens durch eine Wellenlinie, wie sie Fig. 7 zeigt, dar, so erhalten wir, wenn wir eine grössere Anzahl solcher Wellenlinien unter Berücksichtigung des Phasenunterschiedes nebeneinander legen, ein Wellensystem, wie es Fig. 8 zeigt.

Diese Zeichnung benutzt nun Weinhold in höchst sinnreicher Weise so, dass jedes Theilchen einer Linie, welches ein schwingendes Lufttheilchen vorstellt, wirklich in Bewegung zu sein scheint. Er schneidet, wie Fig. 9 zeigt, einen schmalen Schlitz in ein Stück steifen Papiers von schwarzer oder einer andern dunkeln Farbe. Diesen hält er dann an die Stelle der punktirten Linie am Grunde der Fig. 7. Dann wird das Buch langsam in der Richtung des Pfeils weggezogen, während das Papier in unveränderter Lage festgehalten wird. Zuerst erblickt man das untere Ende der gekrümmten Linie durch den Schlitz, allein während das



Fig. 7.

Buch weggezogen wird, kommen andere, theils nach rechts, theils nach links gelegene Theilchen der Linie zum Vorschein. Der kleine weisse Punkt, der allein



von der gekrümmten Linie sichtbar ist, bewegt sich erst nach links und dann nach rechts und ahmt genau die Bewegung eines schwingenden Lufttheilchens nach,

nur dass die Bewegung viel langsamer vor sich geht. Wird nun der Schlitz an die punktirte Linie in Fig. 8 gelegt und das Buch in der Richtung des Pfeils hinweggezogen, so erhält man ein Bild von der Bewegung einer Reihe von Lufttheilchen, die durch eine Anzahl von aufeinanderfolgenden Schwingungen oder Wellen erzeugt wird.

Die Schallerscheinungen bilden ein Gebiet, von welchem die Wissenschaft behaupten kann, dass sie einige sichere Kenntnisse auf demselben erlangt hat. Die Betrachtung dieser bekannten Resultate setzt uns in den Stand, langsam, aber sicher auch die Natur derjenigen Erscheinungen zu erkennen, mit denen sich die Spectralanalyse vorzugsweise beschäftigt.

Ein bekannter Unterschied verschiedener Töne ist derjenige, den man als die Höhe oder Tiefe derselben bezeichnet. Wir wissen nun, dass der Unterschied zwischen einem tiefen und einem hohen Ton einfach darin besteht, dass die Stösse oder Wellen, welche von der Schallquelle, einer Kanone, eines Pianos u. s. w., zu dem Ohre übergehen, eine verschiedene Länge haben. Was man in der Physik eine Schallwelle nennt, wird in folgender Weise bildlich dargestellt. Wir haben eine gerade Linie AX , welche die Ruhelage der Luft, welche den Schall fortpflanzt, darstellt, und krumme Linien, welche erstens die relative Grösse der Verdichtung (+) und Verdünnung (—) während jeder Schwingung und zweitens das Verhältniss derselben zur

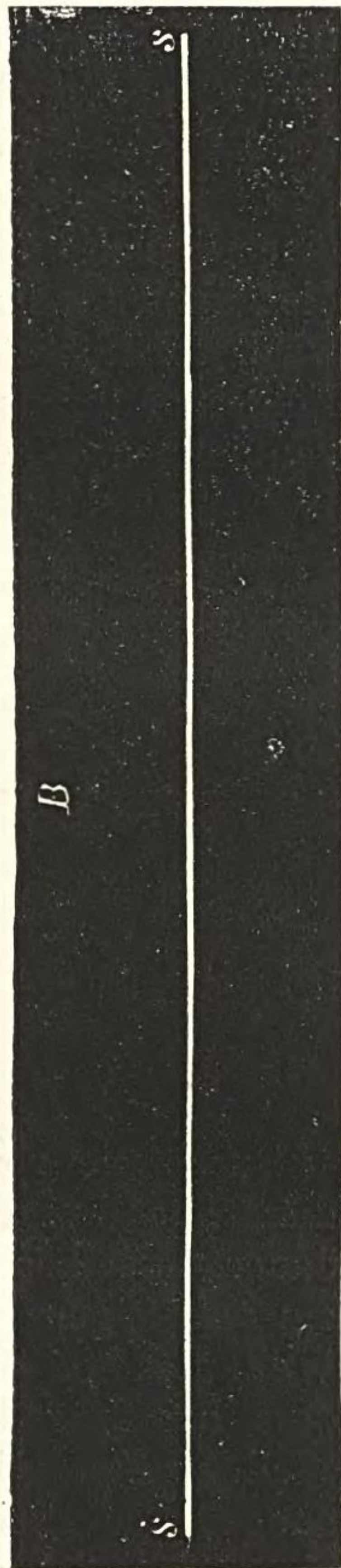


Fig. 9.

wirklichen Länge der Welle oder, was dasselbe ist, die zu einer Schwingung erforderliche Zeit anschaulich machen. So kann die Welle unabhängig von dem Grade der Verdünnung und Verdichtung lang oder kurz und ebenso unabhängig von der Länge der Welle der Grad der Verdichtung und Verdünnung gross oder klein sein. Wir wissen jetzt, dass der Unterschied zwischen einem hohen und einem tiefen Ton, einerlei, ob er durch die Stimme oder ein musikalisches Instrument erzeugt wird, darin besteht, dass wir den hohen Ton durch eine Folge von kurzen, den tiefen dagegen durch eine Folge von langen Wellen erzeugen können.

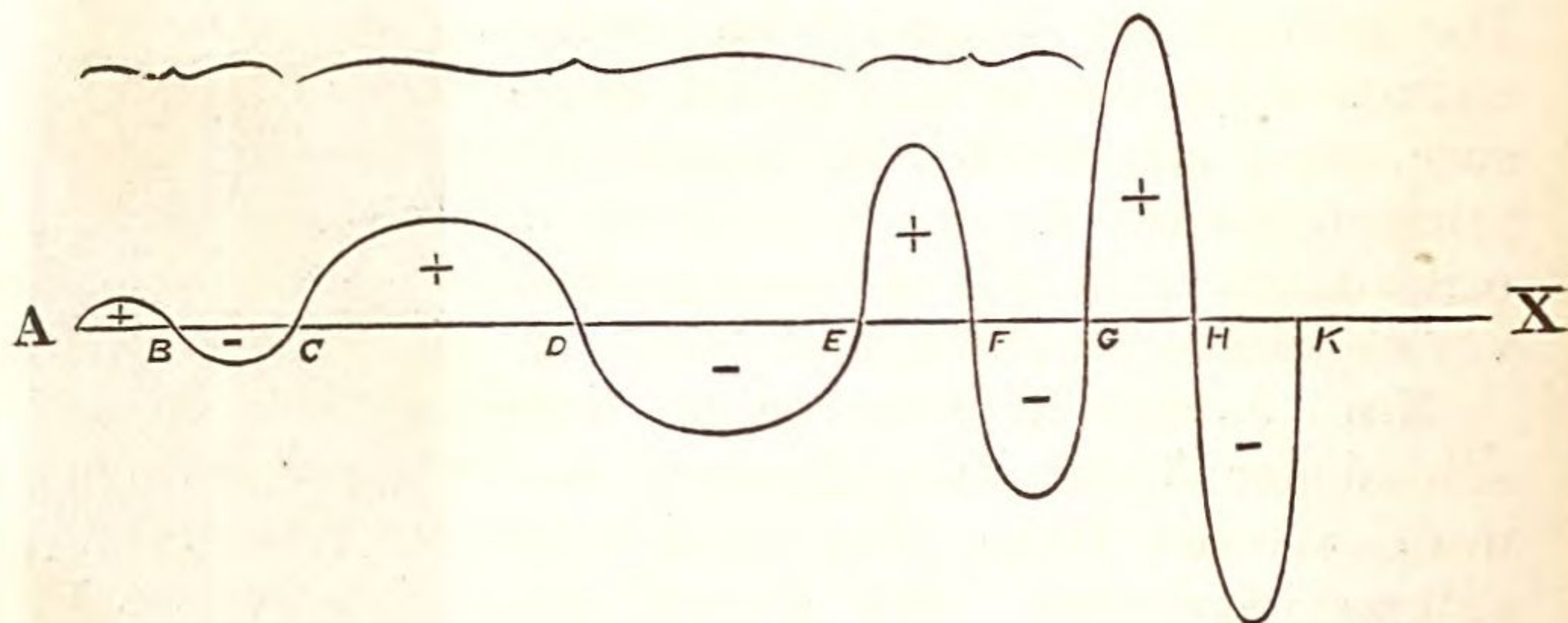


Fig. 10.

Durch die verschiedene Stärke eines Tons wird nun die Höhe desselben, also die Länge und Schwingungsdauer desselben nicht geändert. Ich kann sowol durch einen heftigen, als durch einen schwachen Schlag eine Welle das Seil entlang senden, allein wir werden finden, dass bei derselben Spannung des Seils die Länge der Wellen stets dieselbe ist, vorausgesetzt, dass die Schwingungsdauer dieselbe ist. Die Stärke oder Intensität eines Tons ist also ein von der Höhe desselben vollkommen unabhängiger Begriff.

Noch ein anderer Punkt verdient erwähnt zu werden, obgleich es nicht nöthig ist, denselben eingehend zu betrachten, nämlich, dass sich der Schall mit einer ge-

wissen Geschwindigkeit fortpflanzt und dass verschiedene Ursachen geringe Schwankungen dieser Geschwindigkeit hervorbringen.

Wir haben es indessen nicht nur mit der Weite oder Amplitude, d. h. der Grösse der Abweichung der positiven (+) und negativen (—) Theile der Curve von der Linie AX , und der Schnelligkeit, sondern noch mit einer andern Eigenthümlichkeit der Töne zu thun, die der Leser vielleicht selbst wahrzunehmen Gelegenheit gehabt hat. Singt jemand in einem Zimmer, in welchem sich ein Fortepiano befindet, einen bestimmten Ton, so antwortet diejenige Saite des Instruments, welche auf diesen Ton abgestimmt ist. Singt er einen andern Ton, so antwortet eine andere Saite, während die erste ruhig bleibt. Und wenn der Experimentirende im Stande wäre, alle Töne, auf welche die Saiten des Instruments abgestimmt sind, zu singen, so würde auch nach und nach jede Saite des Instruments in Schwingung versetzt werden. Diese Thatsache erklärt sich in folgender Weise. Eine Klaviersaite oder ein anderer tönender Körper, welcher zur Hervorbringung eines bestimmten Tons construirt ist, lässt jedesmal diesen Ton erklingen, wenn er in einer passenden Weise dazu angeregt wird. Dies kann nun entweder in der Weise geschehen, dass er von einer bestimmten Schwingung getroffen wird, oder so, dass er angeregt wird, diese Schwingung in sich selbst zu erzeugen. Wenn die Klaviersaite stets ein und denselben Ton gibt, gleichviel ob sie stark oder schwach angeschlagen wird, so geschieht dies aus dem Grunde, weil sie so gearbeitet und so gespannt ist, dass sie nur einen einzigen Ton hervorzubringen im Stande ist.

Gehen wir jetzt von einer Klaviersaite zu einer Stimmgabel über. Wir finden, dass, wenn wir verschiedene Formen oder verschiedene Massen von Metall benutzen, diese Instrumente verschiedene Töne hervorbringen. Bestehen alle aus demselben Metall, so geben die verschiedenen Massen von Metall Töne von verschiedener

Höhe. Die Höhe eines Tons ist unabhängig von irgendeiner besondern Eigenschaft der in Schwingung versetzten Substanz. Nun können zahlreiche musikalische Instrumente denselben Ton hervorbringen, und doch ist bei gleicher Höhe der eigenthümliche Klang der verschiedenen Töne verschieden. Und zwar ist trotz gleicher Höhe der Charakter des Tons verschieden, weil die Welle oder vielmehr das Wellensystem, welches den Ton erzeugt, in den einzelnen Fällen verschieden ist. Erzeugen wir z. B. einen Ton auf einer Violine, oder auf einem Waldhorn, oder einer Flöte, oder einer Clarinette, so wird jeder, der nur einigermaassen etwas von Musik versteht, leicht erkennen, von welchem dieser Instrumente der Ton herrührt. Wir haben hier also ausser der Länge und der Amplitude noch etwas, die Form der Welle, welche den eigenthümlichen Charakter des Tons erzeugt, den man die „Klangfarbe“, französisch „*timbre*“, englisch „*tone*“ oder „*quality*“ nennt.

Wir haben also gefunden — um das Gesagte kurz zusammenzufassen, — dass der Schall durch Schwingungen hervorgebracht wird, welche die Schallquelle mit der wahrnehmenden Person in Verbindung setzen; ferner, dass der Schall eine verschiedene Höhe haben kann, dass die Stärke desselben von der Amplitude abhängt, dass er hinsichtlich der Höhe unabhängig von dem Material des schwingenden Körpers und der Art der Schwingungen ist, während dagegen die Klangfarbe wesentlich von der Verschiedenheit der Körper in dieser Beziehung abhängt.

§. 4. *Lichtwellen.*

Wir haben jetzt diejenige Art von Erschütterung zu betrachten, welcher wir die Empfindung des Lichts verdanken, welches für das Auge des Menschen viel mehr ist, als der Schall für das Ohr. Auch diesen Gegenstand wollen wir von einem dreifachen Gesichtspunkt

aus betrachten, indem wir uns mit dem Absender, dem Empfänger und dem Medium, welches beide verbindet, beschäftigen. Nach dem heutigen Zustand unserer Kenntnisse gibt es drei Arten von Empfängern, nämlich zunächst das wunderbare Organ des menschlichen Auges und ein nicht weniger wunderbarer lebloser Gegenstand, die photographische Platte.

Woher kommt es, dass oft wenige Worte zahlreiche Erinnerungen an unsere Kindheit in uns erwecken? Daher, dass wir in unserer Kindheit gewisse Dinge mit unsern Augen wahrnahmen und die Eindrücke, die wir durch die Augen erhielten, in unserm Gehirn aufbewahrt wurden und weil wir im Stande sind, dieselben wieder in unserm Gedächtniss hervorzurufen. Wir haben hier sozusagen eine dauernde Aufbewahrung von Dingen, die das Auge erblickt hat, eine Aufbewahrung von Nachrichten eines bestimmten Absenders. In der photographischen Platte haben wir ebenfalls eine dauernde Aufbewahrung eines bestimmten Zustandes von Dingen, eines Gesichts, eines Hauses, eines Schiffs, eines bestimmten Zustandes des Meeres oder des Himmels, der durch Einwirkung auf eine chemisch präparirte Platte fixirt wurde und in späterer Zeit vielleicht eine angenehme Erinnerung an entfernte Freunde hervorruft. Wir haben im Auge und der photographischen Platte also zwei Empfänger, welche mehr oder weniger genau und dauernd einen Eindruck aufbewahren, von dem sie einst getroffen wurden.

Ausser dem Auge und der photographischen Platte bildet aber jeder beliebige Gegenstand in der Natur — die Häuser, in denen wir wohnen, die Möbel, die bekannten Gesichter um uns, dieses Buch und jeder beliebige andere Gegenstand auf unserm Planeten — ja nicht allein diese, sondern jeder Gegenstand im Weltall, welcher nicht mit eigenem Lichte leuchtet, bildet einen Empfänger des Lichts. Diese Körper bilden die dritte Klasse von Empfängern, nämlich diejenigen, welche

den Eindruck, den das Licht auf sie macht, nicht immer deutlich aufbewahren und die das Licht mehr oder weniger vollkommen zurückwerfen.

Soviel über die Empfänger dieser Art der schwingenden Bewegung. Nachts oder in einem dunkeln Zimmer werden die genannten und ähnliche Gegenstände unsichtbar. Unsere Augen sehen dieselben nicht, eine Thatsache, die uns beweist, dass der Empfänger eine sehr wichtige Rolle spielt. Andererseits empfängt jeder Gegenstand an einem hellen Sommertage Licht von einer und derselben Lichtquelle, der Sonne. Woher kommt es nun, dass wir mit der ersten Art des Empfängers, dem Auge, vorausgesetzt, dass wir nicht farbenblind sind, alle die mannichfaltigen Naturschönheiten in ihrer tausendfältigen Farbenpracht wahrnehmen, während uns der andere Empfänger, die photographische Platte, nur Schwarz und Weiss gibt? Warum sind die Rosen roth und die Blätter grün? Es gibt nur ein und dieselbe Art des Himmelslichts, nur ein und dieselbe Abwesenheit der Form und der Sichtbarkeit im Dunkeln; und dennoch erhalten wir mit dem Licht, welches einer einzigen Quelle entstammt, alle diese verschiedenen Wirkungen. Welches ist die Ursache dieser Erscheinung? Wir sind zu der Annahme genöthigt, dass die Empfänger, auf welche sich unsere Aufmerksamkeit besonders richtete, Licht in sehr verschiedener Weise mittheilen, oder dass sie in irgendeiner Weise verschiedene Arten von Licht empfangen.

Wir müssen also die verschiedenen Farben, die wir in der Natur bemerken, in irgendeiner Weise zu erklären suchen. Ich habe die verschiedenen Empfänger des Lichts, einschliesslich derjenigen, die das Licht zurückwerfen, erwähnt; jetzt wollen wir uns zur Betrachtung derjenigen Gegenstände wenden, welche Licht aussenden. Zu diesen gehören die Sonne, der Mond, die Sterne, Gas- und Kerzenflammen, die uns als Lichtquellen sehr bekannt sind. Es ist hierbei wohl zu bemerken — der Grund wird nach und nach klar wer-

den — dass alle diese Lichtquellen im wesentlichen weisses Licht aussenden. Allein wir haben auch noch andere Lichtquellen.

So besitzen wir z. B. eine ausserordentlich kräftige Lichtquelle in der elektrischen Lampe. Das Licht geht von zwei Kohlenspitzen aus, die vermittels eines elektrischen Stroms, der von der einen zur andern übergeht, heftig glühend gemacht werden.

Bringen wir verschiedene Metalle zwischen diese Kohlenpole, so finden wir, dass wir nicht nur Licht von den Polen der Lampe selbst (welches weisses Licht ist), sondern, dass wir durch diesen Zusatz von Metallen verschieden gefärbte Lichterscheinungen erhalten.

Diese Lichterscheinungen lassen sich nicht nur durch den elektrischen Flammenbogen oder Funken, sondern auch durch andere Mittel hervorbringen. Bringen wir Salze verschiedener Metalle in die Flamme eines Bunsen'schen Brenners, so bemerken wir, dass die Farbe der Flamme von dem Salz abhängt, welches wir in die Flamme bringen. So färbt z. B. Natrium die Flamme gelb, Lithium roth und Thallium grün. Ebenso erhalten wir Lichterscheinungen von verschiedener Farbe, wenn wir gewisse Gase mit Hülfe eines durchschlagenden elektrischen Funkens zum Leuchten bringen. Einige dieser Gase sind roth, andere grün, wieder andere violett u.s.w.

Alle die genannten Farbenerscheinungen können wir durch chemische und physikalische Instrumente hervorrufen. Ausserdem finden wir aber am Himmel verschiedene farbige Weltkörper, ähnlich wie die Sonne, der Mond und diejenigen Sterne, welche eine weniger auffallende Färbung zeigen. Alle diejenigen, welche so glücklich waren, den Komet vom Juli 1874 zu beobachten, werden bemerkt haben, dass es ein Komet von gelber Farbe war, zwar nicht so intensiv gelb wie die Natriumflamme, aber doch immerhin deutlich gelb. Wer Gelegenheit gehabt hat, einige Sterne durch ein Fernrohr zu beobachten, oder, was fast gerade so gut ist, wer die Linie passirt und einige Sterne der südlichen

Halbkugel gesehen hat, wird bemerkt haben, dass manche Sterne am Himmel ebenso schön und sozusagen ebenso majestätisch durch ihre Farbe sind, als andere durch ihren Glanz. Ebenso werden diejenigen, welche eine totale Sonnenfinsterniss gesehen haben, einen grossen und interessanten Theil der Sonne bemerkt haben, den wir zu keiner andern Zeit wahrnehmen können, eine Region, die ebenso sehr durch ihre prachtvollen Farben, als durch ihre grotesken Formen bemerkenswerth ist.

So finden wir sowol am Himmel als auf der Erde Beispiele von weissem und von gefärbtem Licht.

Nach diesen Bemerkungen über die Absender des Lichts haben wir noch des Mediums zu gedenken, welches das Licht vom Absender zum Empfänger überträgt. Denn bei dem Licht und der Elektrizität, über deren Wesen wir noch im Unklaren sind, findet ebenso wol wie beim Schall, von dem wir es mit Bestimmtheit wissen, keine Uebertragung eines Gegenstandes, sondern nur eines Zustandes, einer Erschütterung oder zitternden Bewegung vom Absender zum Empfänger des Lichts statt. Das Licht z. B., welches eine Kerzenflamme ausstrahlt und welches von unserm Auge aufgenommen wird, kommt keineswegs etwa in Gestalt kleiner Lichtkörperchen oder Fünkchen von der Lichtquelle zu unserm Auge. Der Absender — im vorliegenden Falle die Kerze — ist ein Etwas, welches ein gewisses anderes Etwas in Bewegung setzt. Und dann ist noch ein Etwas vorhanden, welches diese Bewegung fortpflanzt. Setzen wir eine Glocke durch einen Schlag in Schwingungen, so hören wir einen Ton. Bringen wir dagegen die Glocke unter den Recipienten einer Luftpumpe und machen denselben luftleer, so können wir die Glocke in Schwingungen versetzen, ohne dass wir einen Ton wahrnehmen. Warum ist dies der Fall? Weil der Träger der Schallwellen die Luft ist. Wenn wir aber die Luft wegnehmen, so vernichten wir hierdurch die Möglichkeit der Fortpflanzung des Schalls

von einem Ort zu einem andern. So wissen wir, dass auf unserm Mond durchaus kein Schall existirt. Wenn der Mond morgen von Menschen wimmelte, so würde kein einziger einen andern sprechen hören. Kein Ton, sei er stark oder schwach, würde von einem Mondbewohner wahrgenommen werden können, aus dem einfachen Grunde, weil der Mond keine Atmosphäre besitzt.

Trotzdem nun der Zwischenraum zwischen uns und dem Mond oder zwischen uns und der Sonne nicht mit Luft angefüllt ist, erhalten wir doch Licht vom Mond und von der Sonne. Wodurch wird der Uebergang des Lichts von jenen Himmelskörpern zu uns vermittelt?

§. 5. *Theorie des Aethers.*

Die Physiker nehmen an, ein gewisses Etwas, welches sie „Aether“ nennen und welches von unendlich feinerer Beschaffenheit ist als die Luft, erfülle das ganze Weltall und durchdringe alle Körper, und die Erschütterung oder Lichtwelle, welche ein leuchtender Körper erzeugt, werde durch diesen Aether genau in derselben Weise fortgepflanzt, wie die „Form“ der Welle durch das Wasser und der Zustand der Bewegung durch ein Seil. Mit diesem Aether in Verbindung steht die sogenannte Undulationstheorie des Lichts, welche annimmt, dass jedes Ding, welches Licht aussendet, den Aether, gewissermaassen eine unendlich feine, unwägbare Luft, in Schwingungen versetzt und dass sich diese Schwingungen fortpflanzen, ohne dass sich diese Substanz des Aethers selbst von irgendeiner Lichtquelle zu irgendeinem Empfänger des Lichts fortbewegt. Diese Undulationstheorie bildet einen der grössten Triumphe der modernen Wissenschaft. Selbst ein so grosser Mann wie Newton war, wie vielen Lesern bekannt sein wird, ein Anhänger der sogenannten „Emanationstheorie“ des Lichts, welche annahm, dass von jedem leuchtenden

Körper kleine Lichtkörperchen ausströmen, ähnlich wie die Kugeln von einer Kanone fortgeschleudert werden. Nach dieser Auffassung war also die Fortpflanzung des Lichts der Beförderung eines Gepäckstücks durch die Eisenbahn, nicht der Beförderung einer Depesche durch den Draht vergleichbar. Bei dem damaligen Zustande der Wissenschaften hatte diese Art der Erklärung eine gewisse Berechtigung. In späterer Zeit jedoch, nachdem sich der Gesichtskreis der Gelehrten durch Entdeckung neuer Thatsachen erweitert hatte, hat man diese Theorie aufgegeben. Dies entspricht vollkommen einer naturgemässen Entwicklung der Wissenschaft, und es ist immer ein Zeichen der Blüte derselben, wenn alte Ansichten aufgegeben und neue an deren Stelle gesetzt werden, da die Wissenschaft nur dann ihre Ansichten ändert, wenn sie durch die Erkenntniss neuer Wahrheiten dazu genöthigt wird.

Obgleich man also nicht annimmt, dass sich zwischen uns und der Sonne eine Art Atmosphäre befindet, die den ganzen Raum erfüllt, so müssen wir doch, weil wir die Sonne sehen, annehmen, dass ein gewisses Mittel vorhanden ist, welches die Lichtbewegung fortpflanzt. Dieses Mittel bezeichnet man mit dem Namen Aether. Da die Entfernung der Sonne von der Erde ungefähr zwanzig Millionen Meilen und die Entfernung mancher Sterne, die für uns sichtbar sind, das Millionenfache des Sonnenbestandes beträgt, so müssen wir annehmen, dass jenes Mittel die Fähigkeit, Licht durchzulassen, in hohem Grade besitzt, sodass das Licht bei seinem Durchgang keine merkliche Schwächung erleidet. Wir wissen, dass die Dichtigkeit der Atmosphäre zuweilen so ungleichartig ist, dass sich der Schall nur schwierig durch dieselbe fortpflanzt. Dies setzt uns in den Stand, uns klar zu machen, wie gering der Widerstand ist, den das Licht bei seinem Durchgang durch den Aether findet, da es von unendlich weit entfernten Sternen zu uns gelangt. Hinsichtlich der Fortpflanzung des Lichts können wir daher behaupten, dass der Aether ein Mittel

ist, welches die von einem leuchtenden Körper erzeugte Erschütterung in höchst vollkommener Weise zu den bereits betrachteten verschiedenen Empfängern überträgt.

Wie haben wir uns nun die Bewegung der Aethertheilchen in einer Lichtwelle vorzustellen? Wir kennen bereits die kreisförmigen Bahnen der Moleküle einer Wasserwelle, welche in einer Verticalebene in der Richtung der Bewegung der Welle beschrieben werden, ebenso die Vorwärts- und Rückwärtsbewegung eines Lufttheilchens in der Richtung der Bewegung einer Schallwelle. Die Bewegung der Aethertheilchen, wie sie sich die modernen Physiker vorstellen, ist indess eine ganz andere.

Vor allen Dingen finden die Schwingungen der Aethertheilchen in Ebenen statt, welche senkrecht zur Richtung des Lichtstrahls stehen.

Welches ist nun die Bewegung der Aethertheilchen in dieser Ebene? Dieselbe kann verschiedener Art sein und hängt ohne Zweifel von der Schwingung der Lichtquelle ab. Das Molekül kann eine geradlinige, kreisförmige oder elliptische Bahn beschreiben, in allen Fällen liegt die geradlinige oder krummlinige Bahn in einer Ebene, die auf der Richtung des Strahls senkrecht steht.

Eine Reihe von Kugeln, die in gerader Linie angeordnet sind, kann uns als Bild für die in Ruhe befindlichen Aethertheilchen dienen. Stellen wir uns vor, dass die Kugeln der Reihe nach ihre Bewegung beginnen und gleichförmig auf und nieder schwingen, so erhalten wir schliesslich ein Wellensystem längs der ganzen Linie. Wir erhalten Wellenberge und Wellenthäler und können leicht den Begriff der Wellenlänge (die Entfernung zweier Wellenberge oder zweier Wellenthäler), sowie den Begriff der Amplitude von den Schallwellen auf den vorliegenden Fall übertragen.

Wir haben also hier eine Form, in welcher die gegenseitige Anziehung oder die elastische Cohäsion der Aethertheilchen eine Erschütterung fortpflanzt.

Bei dem gewöhnlichen Licht haben nun die einzelnen geradlinigen und krummlinigen Bahnen der einzelnen Aethertheilchen keine übereinstimmende Lage. Die von den in Fig. 11 dargestellten Theilchen beschriebenen geradlinigen Bahnen passiren die Mittellinie ad unter verschiedenen Winkeln, ebenso die grossen Achsen der Bahnen derjenigen Theilchen, welche eine elliptische Bahn beschreiben, sodass, um mit Spottiswood* zu reden, „wenn auch wahrscheinlich im allgemeinen die Bahnen einer beträchtlichen Anzahl aufeinanderfolgender

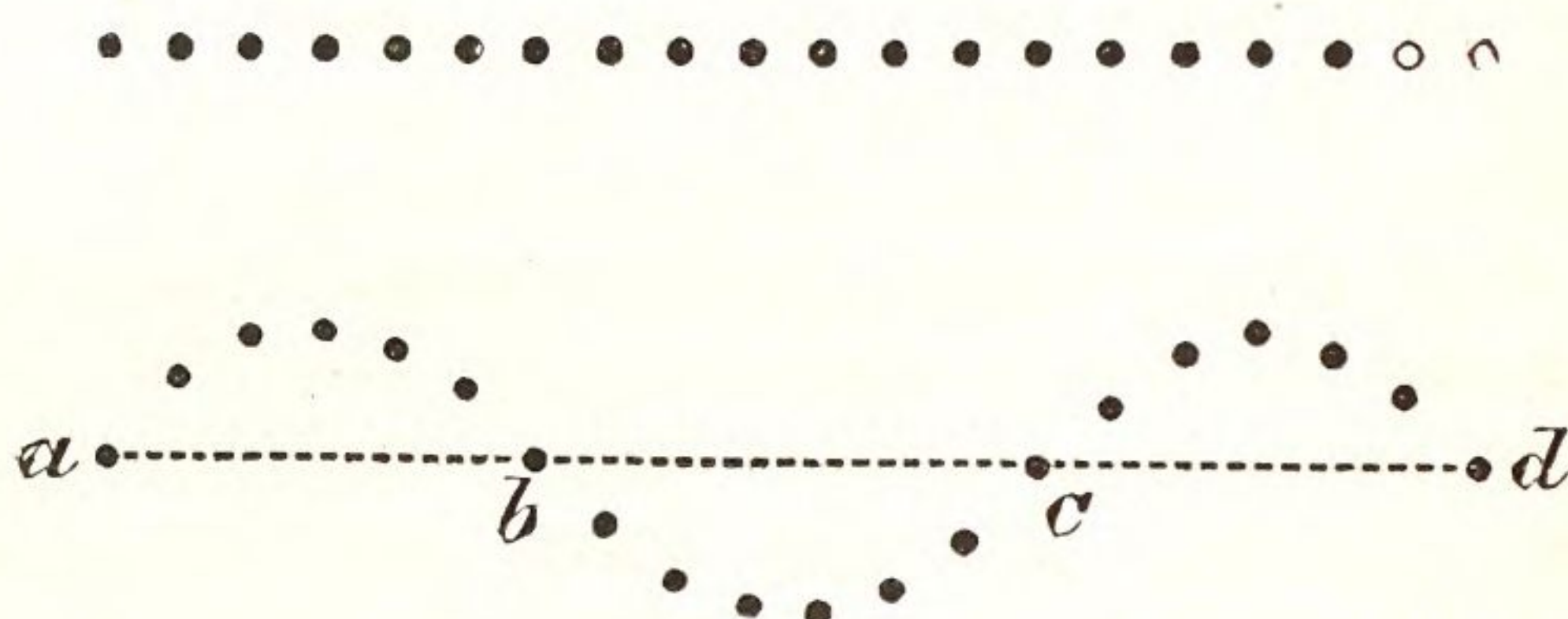


Fig. 11. Wellensysteme.

Moleküle eine ähnliche Lage haben, doch in einem begrenzten Theil des Strahls eine hinreichende Verschiedenheit der Lage stattfindet, um das Vorherrschen einer Mittelrichtung zu verhindern“.

§. 6. Wellenlängen.

Einige Bemerkungen über die Wellenlängen werden uns in den Stand setzen, den Maassstab, nach welchem die Bewegungen unsers Lichtmediums, des Aethers, stattfindet, würdigen zu können. Auch hier wird uns eine Vergleichung mit den Schallwellen die Uebereinstimmung beider Gruppen von Erscheinungen erkennen lassen.

* Polarization of Light, p. 6.

Die mittlere Geschwindigkeit mit welcher sich der Schall bei einer Temperatur von etwa 16° C. fortpflanzt, beträgt ungefähr 340 Meter in der Secunde. Es ist durch Versuche nachgewiesen worden, dass der niedrigste Ton, der noch als musikalischer Klang gelten kann, $16\frac{1}{2}$ Schwingungen in der Secunde macht.

Denken wir uns nun eine Luftsäule mit 16 Verdichtungen und 16 Verdünnungen. Es ist klar, dass dieses ganze Wellensystem jede Secunde unser Ohr treffen und die Wellenlänge, d. h. der Abstand zweier Maxima der Verdichtung oder zweier Minima der Verdünnung etwas mehr als 20 Meter (20,6) betragen muss.

Der höchste wahrnehmbare Ton macht nach Helmholtz 38,000 Schwingungen in der Secunde.

Zwischen diesen äussersten Grenzen liegt also die ganze wunderbare Welt der musikalischen Töne, welche unser Ohr wahrzunehmen im Stande ist. Vielleicht ist die Luft ausserdem mit einer Menge von Tönen erfüllt, welche oberhalb und unterhalb der Grenze unsers Wahrnehmungsvermögens liegen.

Da nun der Aether unendlich viel elastischer ist als die Luft, so pflanzt sich eine Wellenbewegung in demselben mit einer Geschwindigkeit fort, die unsere Fassungskraft übersteigt. Nach den neuesten Messungen legt das Licht in einer Secunde 298,000 Kilometer (40,160 Meilen) zurück. Man denke sich, dass die Bewegung der Moleküle von dieser Geschwindigkeit abhängt und bedenke dann, dass die Lichtbewegung, die ein Glühwurm zu erregen vermag, den ungeheuern Weg von den entferntesten Sternen zu uns ohne einen merklichen Verlust an Energie durchheilt.

Was sodann die Dimensionen der Lichtbewegung betrifft, so beträgt die Länge der grössten Welle, welche wir wahrzunehmen vermögen, 0,00076009 Millimeter, die Länge der kürzesten 0,00039328 Millimeter. Die längsten sichtbaren Wellen sind die des rothen, die kürzesten die des violetten Lichts.

Da nun das Licht in einer Secunde 298,000 Kilometer

oder 29,800,000,000,000,000,000 Hundertmillionstel eines Millimeters zurücklegt und alle Wellen in einer Secunde das Auge treffen müssen, so erhalten wir als Anzahl der Wellenberge oder Wellenthäler in einer Secunde

$$\frac{29,800,000,000,000,000,000}{76,009} = 392,000,000,000,000,$$

d. h. 392 Billionen für das rothe, und

$$\frac{29,800,000,000,000,000,000}{39,328} = 757,000,000,000,000,$$

d. h. 757 Billionen für das violette Licht.

§. 7. *Durchgang des Lichts durch die Materie.*

Die Ausbreitung des Lichts beschränkt sich natürlich nicht ausschliesslich auf den Durchgang durch den Aether im freien Raum. Halten wir ein Glas Portwein gegen die Sonne, so dringt das Licht durch dasselbe und erscheint roth. In diesem Falle musste das Licht durch den Aether *plus* der Flüssigkeit gehen, und hier können wir bemerken, dass das neue Mittel das ursprüngliche Licht wesentlich verändert hat.

Angenommen, das Licht einer elektrischen Lampe werde auf einen Schirm geworfen, so werden wir bemerken, dass das Licht weiss, d. h. von derselben Art ist, wie das Licht, welches wir von der Sonne erhalten. Lassen wir dagegen den Lichtstrahl durch ein blaues oder rothes Glas gehen (indem wir diese Substanzen gewissermaassen zu dem Aether hinzufügen), so erhalten wir auf dem Schirm rothes oder blaues Licht. Wenn wir daher Lichterscheinungen in erschöpfender Weise untersuchen wollen, so müssen wir nicht nur die verschiedenen Zustände des Absenders und des Empfängers des Lichts, sondern auch die Zustände der Medien berücksichtigen, welche das Licht durchdringt, oder, wie

wir bald sehen werden, der Medien, welche das Licht absorbiren. Denn obgleich wir nicht wissen, dass der Aether Licht absorbirt, so wissen wir doch, dass jede beliebige Art der Materie eine Absorption des Lichts bewirkt. Wir wissen, dass die rothe Farbe der Sonne am Abend nur durch die Absorption der dickern Luftschicht, welche das Licht durchdringt, bewirkt wird. Die Luft übt auf das Sonnenlicht dieselbe Wirkung aus, wie das rothe Glas auf das elektrische Licht in dem obenangeführten Versuch.

Wir sehen also, dass unser zusammengesetztes Mittel (in einigen Fällen Aether + Materie) eine Absorption des Lichts bewirkt, sodass der Empfänger nicht die gesammte von dem Absender erregte Bewegung erhält, weil die Schwingungen des Aethers durch die Moleküle der verschiedenen Körper, durch welche sie hindurchgehen müssen, beeinflusst werden.

Dies ist nicht die einzige Folge der vereinigten Wirkung der Aetherwellen und der Moleküle der Materie. Wenn die Bewegung aus der Luft in ein dichteres Mittel, z. B. Wasser oder Glas, und zwar nicht senkrecht zur Grenzfläche eintritt, so ändert sich die Fortpflanzungsrichtung der Bewegung, die Welle ändert sozusagen ihre Front, und je grösser der Unterschied der Dichtigkeit der beiden Arten der Materie ist, wie z. B. bei Luft und Wasser oder Luft und Diamant, desto grösser ist die Aenderung der Richtung, in welcher das Licht fortschreitet.

§. 8. *Wirkung des Prismas.*

Die Ablenkung des Lichtstrahls von seiner Richtung ist indess von einer andern Erscheinung begleitet, die für unsern gegenwärtigen Zweck von grösserer Wichtigkeit ist und die wir am besten studiren können, wenn wir die Bewegung an den Flächen des aus dem dichtern Mittel bestehenden Körpers unter demselben Winkel ein- und austreten lassen.

Dies kann in der Weise ausgeführt werden, dass wir zu dem Aether als materielles Mittel Glas hinzufügen, welchem man die Gestalt eines Prismas gegeben hat.

Die Wirkung, welche man durch ein Prisma erzielt, wurde zuerst von Kepler beschrieben und von Newton erklärt. Es musste indess erst die Undulationstheorie des Lichts zu Hülfe genommen werden, um die Erscheinung in befriedigender Weise zu erklären.

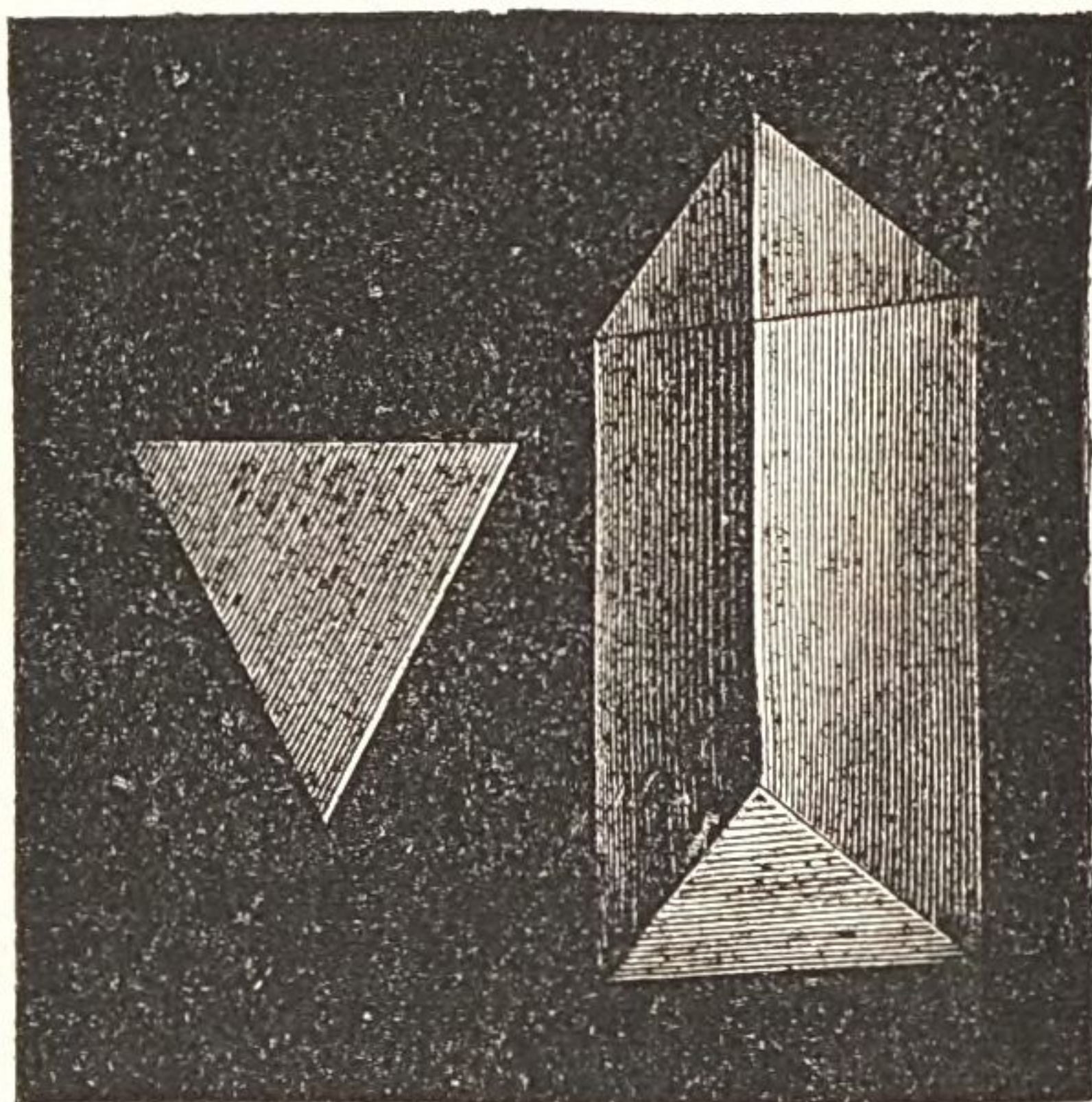


Fig. 12. Prisma.

Die Wirkung der Glasmoleküle, welche in der angegebenen Weise zu der Aetherbewegung hinzugefügt werden, besteht 1) in einer Ablenkung des Lichtstrahls und, wenn der Strahl aus weissem Licht besteht, 2) in einer Zerlegung desselben in seine Bestandtheile, die durch verschiedene Farben dargestellt werden, oder wenn der Strahl aus einfachem einfarbigem Licht besteht, 3) in einer Veränderung der Richtung, die für dieselbe Farbe stets dieselbe, für verschiedene Farben dagegen verschieden ist.

Glas bietet uns ein Beispiel, in welchem die Zerstreuung der Farben in normaler Weise, d. h. in der Reihenfolge der Wellenlängen stattfindet. Die so erhaltene Reihenfolge der Farben ist die folgende:

Roth, orange, gelb, grün, blau, indigo, violett.

Es gibt aber auch Substanzen, deren Moleküle eine ganz andere Wirkung auf den Aether hervorbringen. Man erhält durch dieselben eine sogenannte abnorme Dispersion, indem die Reihenfolge der Farben eine andere ist als die oben angegebene.

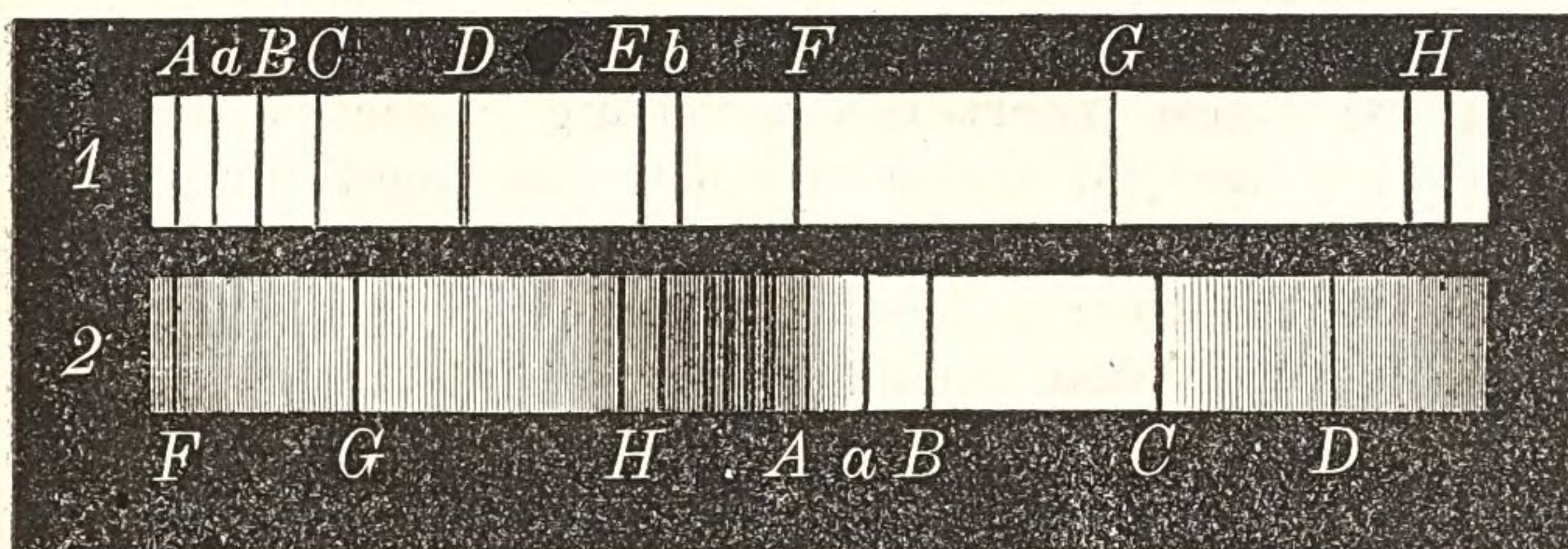


Fig. 13. 1. Normale Dispersion durch Glas. 2. Abnorme Dispersion durch Fuchsin. *AaBC* Roth. *D* Gelb. *EF* Grün. *G* Blau. *H* Violett.

Das Prisma zeigt uns, dass ein Lichtstrahl nicht etwas Einfaches ist, sondern einem Seil mit einer grossen Anzahl von Strängen vergleichbar ist. Wenn z. B. alle Tasten eines Klaviers gleichzeitig niedergedrückt würden, so entsteht ein Klang, der aus den Tönen aller einzelnen Saiten zusammengesetzt ist. Dieser zusammengesetzte Klang ist für das Gebiet des Schalls etwas Aehnliches, wie ein zusammengesetzter weisser Lichtstrahl. Die Grundlage aller neuern Untersuchungen, die uns mit der Materie, die Millionen von Meilen entfernt ist, ebenso bekannt macht, wie mit der Materie unserer unmittelbaren Umgebung, bildet die vollkommene Ausbildung der Vorstellung, dass der weisse Lichtstrahl aus Lichtwellen verschiedener Länge zusammengesetzt ist, gerade so wie das Geräusch, welches alle Töne eines Klaviers gleichzeitig hervorbringen, aus ver-

schiedenen wahren musikalischen Tönen, d. h. aus Schallwellen verschiedener Länge zusammengesetzt ist, und dass jedes Licht von einer bestimmten Farbe aus einer einzigen Wellenlänge oder aus einer bestimmten Combination von Wellenlängen zusammengesetzt ist.

Wenn wir daher das Licht, welches wir von der Sonne oder der elektrischen Lampe erhalten, nicht einfach von der Lichtquelle durch einen schmalen geraden Spalt zum Empfänger gehen lassen, sondern in den Weg desselben eine Linse und ein Prisma einschalten, so beobachten wir eine doppelte Veränderung des Lichtstrahls. Das Licht wird von seinem Wege abgelenkt, und die Linse liefert uns nicht ein einfaches weisses Bild des Spaltes, durch welchen das Licht hindurchdrang, sondern wir erhalten auf dem Schirm einen die Regenbogenfarben zeigenden Streifen. Fügen wir zu dem ersten Prisma noch ein zweites hinzu, so erhalten wir, wie zu erwarten war, dieselbe Erscheinung in verstärktem Maasse. Dieser Streifen der Regenbogenfarben ist das Spectrum.

Der Unterschied zwischen dem blauen Licht an dem einen und dem rothen Licht an dem andern Ende des prachtvoll gefärbten Streifens ist nun genau derselbe, wie der Unterschied zwischen einem hohen und einem tiefen Ton. Der Grund, weshalb das eine Ende des Lichtstreifens, den wir im Folgenden Spectrum nennen wollen, roth und das andere blau ist, liegt darin, dass wir im Licht ebenso wie im Schall ein System von schwingenden Bewegungen oder Wellen haben. Wir haben auch hier lange und kurze Wellen, und was in der Musik tiefe Töne sind, sind hier die rothen Wellen, und was beim Schall hohe Töne sind, sind hier die Wellen des blauen Lichts.

Es herrscht eine vollkommene Analogie zwischen der Welt des Schalls und der Welt des Lichts. Das Gehörorgan ist zur Wahrnehmung verschiedener Töne befähigt. Es gibt Personen, die im Stande sind, höhere Töne wahrzunehmen als andere. Ebenso gibt es Personen,

welche niedrigere Töne wahrzunehmen vermögen als andere. Ganz in derselben Weise gibt es auch Personen, welche Farben sehen können, für die andere blind sind. Je eingehender wir die Erscheinungen untersuchen und je bekannter wir mit denselben werden, desto deutlicher tritt die Aehnlichkeit zwischen den Gebieten des Schalls und des Lichts hervor.

Ich habe deshalb aus den Erscheinungen des Schalls einigen Nutzen zu ziehen versucht, um uns das Verständniss eines andern Gebietes von Erscheinungen zu erleichtern, welches die moderne Wissenschaft den bekannten Gebieten hinzugefügt hat und welches wunderbar reich an Thatsachen ist, die nicht nur die Eigenschaften der Materie, sondern die physikalischen Grundlagen der Materie selbst betreffen. Nach dieser grossartigen und ungeahnten Erweiterung der Wissenschaft ist es gleichgültig, ob sich die Materie im Laboratorium unter den Händen des Experimentators befindet, oder ob sie von den äussersten Grenzen des Weltalls Licht auf die Erde sendet. Die Natur ist in ihrer gesamten Thätigkeit so allgemein und vollkommen zuverlässig und regelmässig, und die moderne Wissenschaft ist in einem solchen Grade Herr über die Schranken von Zeit und Raum, dass uns das Spectroskop, wenn es sich um die Untersuchung der Materie handelt, nicht nur die Art, sondern auch bis zu einem gewissen Grade den Zustand, in welchem sich dieselbe befindet, zu erkennen befähigt. Ja wir werden nach wenigen Jahren über den Zustand der von unserm Planeten unendlich weit entfernten Materie besser unterrichtet sein als über einen grossen Theil derjenigen Materie, welche den von uns bewohnten Planeten bildet.

§. 9. *Rückblick.*

Nachdem wir in unsern Kenntnissen über den Schall ein mehr oder weniger genaues Bild für das, was wir über das Licht wissen, gefunden haben, wollen wir die

bereits berührten Punkte nochmals kurz zusammenfassen. Sowol hinsichtlich des Lichts als auch des Schalls haben wir verschiedene Substanzen, Sender, Empfänger und Medien, zu unterscheiden. Was zunächst die Sender oder Erreger des Schalls betrifft, so wird derselbe durch gewisse Körper, wie z. B. eine Stimmgabel, erregt, und wir wissen, dass er seine Entstehung den Schwingungen der Stimmgabel verdankt, welche in der Luft eine regelmässige Erschütterung hervorrufen. Die Beschaffenheit des Tons, welcher durch diesen oder irgendeinen andern Körper erzeugt wird, hängt von der Art der Erschütterung ab, welche er erregt.

Was sodann die Lichtquellen betrifft, so ist die Thätigkeit eines leuchtenden Körpers genau dieselbe, wie die Thätigkeit der tönenden Stimmgabel. Eine tönende Glocke ist im Gebiet des Schalls dasselbe, was im Gebiet des Lichts ein brennendes Feuer oder ein leuchtender Stern ist. Sowol für den Schall, als für das Licht gibt es verschiedene Arten von Empfängern. Wir können z. B. durch gewisse Flächen, die in geeigneter Weise präparirt sind, die Gestalt und Länge der Schallwellen auffangen und durch eine sichtbare Zeichnung dauernd aufbewahren. Ebenso bietet uns die Photographie ein Mittel zur dauernden Aufzeichnung von Lichterschütterungen. Wir haben hier sowol für den Schall, als auch für das Licht einen Empfänger, der eine mehr oder weniger dauernde Aufzeichnung gestattet.

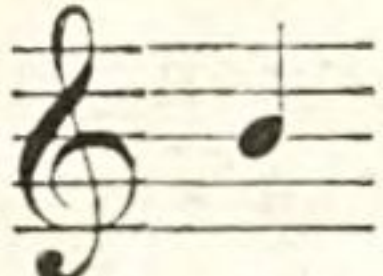
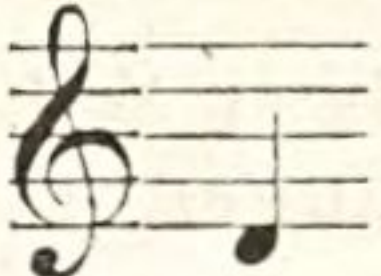
Ich brauche kaum zu erwähnen, dass das Ohr zu den Schallwellen in derselben Beziehung steht, wie das Auge zu den Lichtwellen.

Was sodann das Mittel betrifft, welches den Sender mit dem Empfänger in Verbindung setzt, so haben wir einerseits die Luft, welche die Schallwellen, und andererseits den Aether, welcher die Lichtwellen fortpflanzt.

Einen zusammengesetzten Klang können wir uns als aus Tönen von aller möglichen Höhe zusammengesetzt denken. Ein genaues Aequivalent desselben haben wir

in dem Spectrum des Lichts, in welchem sich vom rothen bis zum violetten Ende keine Unterbrechung findet.

Wenn wir erst eine Taste eines Klaviers niederdrücken und dann eine andere, so erhalten wir nicht ein Gemisch von allen möglichen Tönen, sondern jeden für sich allein. Die Spectralanalyse beruht nun darauf, dass jedes Theilchen der Materie hinsichtlich des Lichts eine ähnliche Wirkung hervorbringt, wie irgendein einzelner Ton des Klaviers hinsichtlich des Schalls. Es ist durch den Versuch nachgewiesen worden, dass der von den einfachsten Theilchen der verschiedenen Arten der Materie ausgegebene „Lichtton“, wie man es nennen könnte, für jede Art der Materie ein anderer, dieser Materie eigenthümlicher ist. Wenn wir das Spectrum des Lichts untersuchen, welches der Dampf eines einfachen Körpers, z. B. Natriumdampf, ausstrahlt, so befinden wir uns in einem ähnlichen Fall, als wenn wir einen einzelnen Ton des Klaviers ertönen lassen. Wir erhalten ein Spectrum, welches nur aus einer einzigen scharf begrenzten Linie im Gelb besteht. Es ist sehr wesentlich, dass die Beziehung zwischen der gelben Linie und einem einzelnen Ton des Klaviers, sowie zwischen dem ununterbrochenen Spectrum und dem durch das Zusammenklingen aller Töne des Klaviers vollkommen verstanden werde. Angenommen, wir nehmen nicht Natrium, sondern ein anderes Metall, welches uns nicht eine Linie im Gelb, sondern eine Linie im Grün liefert, z. B. Thallium. Welches ist nun der Unterschied, so kann man fragen, zwischen dem Licht im Gelb und dem Licht im Grün? Der Unterschied zwischen dem „Lichtton“ des Thalliums und dem Lichtton des Natriums, können wir sagen, ist derselbe, wie

zwischen dem Ton  und dem Ton .

Dieser Unterschied setzt uns aber in den Stand, sofort zu entscheiden, ob wir es mit Natrium oder mit Thal-

lium zu thun haben, wenn wir die Dämpfe beider Metalle ihr Licht aussenden lassen.

Wir haben nun bereits zwei sehr verschiedene Arten von Lichtsendern kennen gelernt, nämlich erstens diejenigen, welche uns ein continuirliches Spectrum, d. h. eine vollständige Folge von Wellen durch das ganze Spectrum geben, und zweitens diejenigen, welche uns kein ununterbrochenes, sondern nur ein aus einzelnen hellen Linien bestehendes Spectrum liefern, d. h. ein Spectrum, welches nur aus einzelnen Theilen des vollständigen Spectrums besteht, weil nur Theile eines vollständigen Wellensystems von der Lichtquelle ausgehen.

§. 10. *Absorption des Lichts.*

Wir haben bereits gesehen, dass das Mittel, welches die Lichtbewegung braucht, um zu uns zu gelangen, der Aether ist und dass derselbe nur das Licht fortpflanzt, ohne in irgendeiner andern Weise auf dasselbe einzuwirken. Ferner haben wir gesehen, dass, wenn wir in dem Wege des Lichts zu dem Aether irgendeinen Gegenstand hinzufügen, die Beschaffenheit der ursprünglichen Bewegung wesentlich verändert wird.

Lassen wir zu dem Durchgang des Lichts durch den Aether noch den Durchgang durch ein roth- oder blaugefärbtes Glas hinzukommen, so erhalten wir eine wesentlich andere Wirkung. In dem rothen Glas ist etwas zu dem Aether hinzugekommen, was nur rothes Licht durchlässt; das blaue Glas lässt nur blaues Licht durch und hält das rothe auf, — und dies ist der Grund, weshalb blaues Glas blau erscheint.

Wir haben es hier mit einer Klasse von Versuchen zu thun, die uns mit den sogenannten Absorptionserscheinungen bekannt machen. Diese Veränderungen des Lichts werden nicht durch die Lichtquelle, sondern durch das Medium verursacht, durch welches das Licht hindurchdringt. Das Medium aber fügt nichts zum Licht hinzu,

im Gegentheil, es absorbirt Licht, wie man zu sagen pflegt. Setzen wir an die Stelle des gefärbten Glases eine Lösung von Kaliumpermanganat, so bemerken wir, dass das Spectrum von gewissen dunkeln Streifen durchzogen ist, woraus wir lernen, dass es in der Natur eine Klasse von Körpern gibt, welche diese eigenthümliche Wirkung auf das Spectrum ausüben. Durch einen andern Versuch erhalten wir eine viel bestimmtere Wirkung. Der Dampf des Natriums war es, wie man sich erinnert, der zu der Flamme eines Bunsen'schen Brenners hinzugefügt, eine helle gelbe Linie als Spectrum gab. Jetzt wollen wir untersuchen, was der Erfolg sein wird, wenn wir den Natriumdampf nicht als Lichtquelle, sondern als absorbirendes Mittel benutzen. Dies können wir in der Weise ausführen, dass wir das weisse Licht der elektrischen Lampe auf seinem Weg nach dem Schirm sowol durch das Prisma als auch durch etwas Natriumdampf hindurchgehen lassen. An Stelle der hellen Linie, welche wir vorher auf dem Schirm erblickten, bemerken wir jetzt eine dunkle Linie.

Auch zur Erklärung dieser Erscheinung wird uns eine Analogie auf dem Gebiete des Schalls von Nutzen sein.

Angenommen, an dem einen Ende eines langen Zimmers befinde sich eine Geige, am andern der Beobachter und zwischen beiden ein Schirm von Geigen, welche sämmtlich mit der einzelnen gleiche Stimmung haben. In diesem Falle würde der Beobachter kaum einen von den Saiten der einzelnen Geige erzeugten Ton wahrnehmen. Warum nicht? Weil die Saiten der einzelnen Geige, die mit denen der übrigen gleichgestimmt sind, alle andern entsprechenden Saiten in Schwingung versetzen und deshalb die Schwingungen nicht unversehrt bis an das andere Ende des Zimmers durchdringen können, als ob sie unterwegs keine Arbeit geleistet hätten.

Die Arbeit, welche das Medium, im vorliegenden Falle die Luft, hätte verrichten müssen, um seine

Schwingung dem Beobachter vernehmbar zu machen, ist sozusagen auf dem Geigenschirm verrichtet worden. Durch diese geleistete Arbeit wird aber die Amplitude der Schwingung vermindert und der Ton mithin geschwächt.

Dies ist, wie zuerst von Stokes und Angström darge-
gethan wurde, die richtige Erklärung der erwähnten
Erscheinung.

Wir haben hier einen treffenden Beweis für die That-
sache, dass die Lichterscheinungen durch Schwingungen
von Lichtquellen erzeugt werden, die nicht durch einen
körperlich fortschreitenden Gegenstand, sondern durch ent-
sprechende Schwingungen des geheimnissvollen Aethers
von der Quelle zu uns übertragen werden. Trifft eine
durch die Luft fortschreitende Schallwelle oder eine
durch den Aether fortschreitende Lichtwelle auf ihrem
Weg einen schwingenden Körper, der die Schwingungen
aufzunehmen fähig ist, gleichviel, ob er hinreichend
schwingt, um uns den Eindruck des Lichts zu
machen, oder nicht, so wird die Schwingung auf-
gehalten oder geschwächt, indem jener Körper dieselbe
ganz oder theilweise aufhält.

§. 11. *Die Grundlage der Spectralanalyse.*

Lichtsender sind in Schwingung befindliche Körper-
theilchen, und wenn sich dieselben nicht in Schwingung
befinden, so senden sie auch kein Licht aus. Der Grund,
weshalb Gasflammen, Kerzenflammen, die Sonne und
andere Körper Licht aussenden, liegt darin, dass sich
dieselben in einem Zustand energischer Schwingung be-
finden, einem Zustand, den wir im allgemeinen mit dem
Worte heiss bezeichnen.

Je wärmer ein Gegenstand ist, desto vollkommener,
beständiger und stärker sind die Schwingungen der
Theile, aus denen der Gegenstand besteht. Die modernen
Physiker lehren uns, dass die Steine, aus denen die

St.-Paulskathedrale erbaut ist, aus Millionen von Millionen kleinen Partikelchen, den sogenannten Molekülen, bestehen, und obgleich die ganze Kathedrale und jeder einzelne Stein derselben in absoluter Ruhe zu sein scheint, so finden wir doch, wenn wir die innere Structur der einzelnen Steine und jeden Theil des Gebäudes eingehend betrachten, nur einen unendlichen Ocean von Bewegung. Was uns in unveränderlicher Ruhe zu sein scheint, befindet sich in Wirklichkeit in einem Zustand ununterbrochener Bewegung; die Beständigkeit des ganzen Baues besteht in einem Zustand der Bewegung.

Zwischen den Lichtquellen, die uns, wie die glühenden festen und flüssigen Körper, ein continuirliches Spectrum geben, und einem Gas oder Dampf, der uns kein ununterbrochenes Spectrum und also auch kein weisses Licht gibt, findet ein sehr einfacher Unterschied statt. Derselbe besteht darin, dass in den durch die atomtrennende Kraft der Elektricität oder der Wärme erzeugten Gasen und Dämpfen die Moleküle, die uns jene Farbenerscheinungen zeigen, infolge der Wirkung der Elektricität und Wärme viel einfacher sind als in denjenigen Körpern, welche uns ein ununterbrochenes Spectrum liefern.

Wenn wir Natrium oder ein anderes Metall von stärkerem Brechungsvermögen schmelzen, so kommen alle diese Metalle, die uns anfangs ein continuirliches Spectrum der Regenbogenfarben geben, zuletzt in einen Zustand, in welchem das Spectrum aus einer, zwei, vier, acht oder Hunderten von Linien besteht. Zwischen dem continuirlichen Anfangsspectrum und dem linienförmigen Endspectrum liegen aber noch andere Zwischenspectra, welche uns zeigen, dass durch die Wirkung der Elektricität oder Wärme die Theilchen, woraus auch die Materie bestehen mag, die uns im festen oder flüssigen Zustand ein continuirliches Spectrum gibt, mehr und mehr einfacher werden, bis wir schliesslich das erwähnte Linienspectrum erhalten.

Wir wollen das Gesagte jetzt sowol auf diejenigen einfachen Substanzen anwenden, die uns zugänglich sind und mit denen wir experimentiren können, als auch auf diejenigen, über welche wir weiter nichts wissen, als was uns das Spectroskop über dieselben sagt, nämlich diejenigen Substanzen, welche die Bestandtheile der Himmelskörper bilden.

Wenn uns die Theilchen der Materie, welche wir untersuchen, weisses Licht senden, so erhalten wir ein ununterbrochenes Spectrum. Haben wir es daher mit weissem Licht zu thun, so wissen wir, dass sich die aussendende Materie im festen, flüssigen oder im Zustand eines sehr dichten Gases befindet. Welche Art der Materie es ist, wissen wir dagegen nicht. Es kann irgendein Metall oder eine Verbindung eines Metalls sein, die eine sehr hohe Temperatur hat. Ob es aber Wismuth oder Sauerstoff, oder Stickstoff oder Calcium ist, wissen wir nicht. Befindet sich die Materie dagegen in einem einfachern Zustand, sodass die Theilchen derselben nicht in genügend fester Verbindung sind, um weisses Licht zu geben, sondern sich im Zustand der Zersetzung befinden und einfaches gefärbtes Licht geben, so finden wir, dass keine zwei der uns bekannten Substanzen dieselben Gruppen von Linien geben. Daher der Name Spectralanalyse, weil uns die Untersuchung des Spectrums in den Stand setzt, die verschiedenen Arten der Materie voneinander zu unterscheiden.

Diese Lichtsender, kleine Massentheilchen, die sogenannten Moleküle, welche uns das farbige, die Linien erzeugende Licht senden, sind zwar unendlich klein, sodass wir uns keine Vorstellung von ihrer Grösse zu machen vermögen, jedenfalls aber sind es wirklich schwingende Körper und das Resultat ihrer Schwingungen ist das Spectrum.

Das Spectrum setzt uns also in den Stand, zu bestimmen, nicht nur von welcher bestimmten Art von Materie das erzeugende Licht stammt, sondern auch zu

beurtheilen, welche Temperatur ungefähr die Materie besitzt. Uebrigens wird die Beschaffenheit des Spectrums auch noch durch andere, später zu erwähnende Umstände beeinflusst.

Ist also die Lichtquelle ein gasförmiger Körper, so erkennen wir aus dem Spectrum die chemische Zusammensetzung, die Dichtigkeit und auch annähernd die Temperatur desselben. Dient dasselbe Gas nicht als Lichtsender, sondern als Medium, so gibt es uns genau dasselbe Spectrum umgekehrt, sodass wir z. B. die Gegenwart von Natriumdampf nicht nur erkennen können, wenn er uns vermittels seiner durch die Wärme erregten Schwingungen Licht zusendet, sondern auch, wenn er sich zwischen uns und irgendeiner Lichtquelle befindet, von welcher dieselben Schwingungen ausgehen. In beiden Fällen haben wir dieselben Mittel, um annähernd die Grenzen der Temperatur und der Dichtigkeit zu bestimmen, in denen sich das Gas befindet.

Durch Betrachtungen dieser Art haben wir nicht nur die Zusammensetzung der Sterne, d. h. die Elemente kennen gelernt, aus denen sie bestehen, sondern auch die Temperatur, in welcher sich dieselben befinden und einen grossen Theil ihrer Meteorologie, d. h. die Beschaffenheit und Ausdehnung ihrer Atmosphären und die periodischen Veränderungen, welche sich in derselben vollziehen.

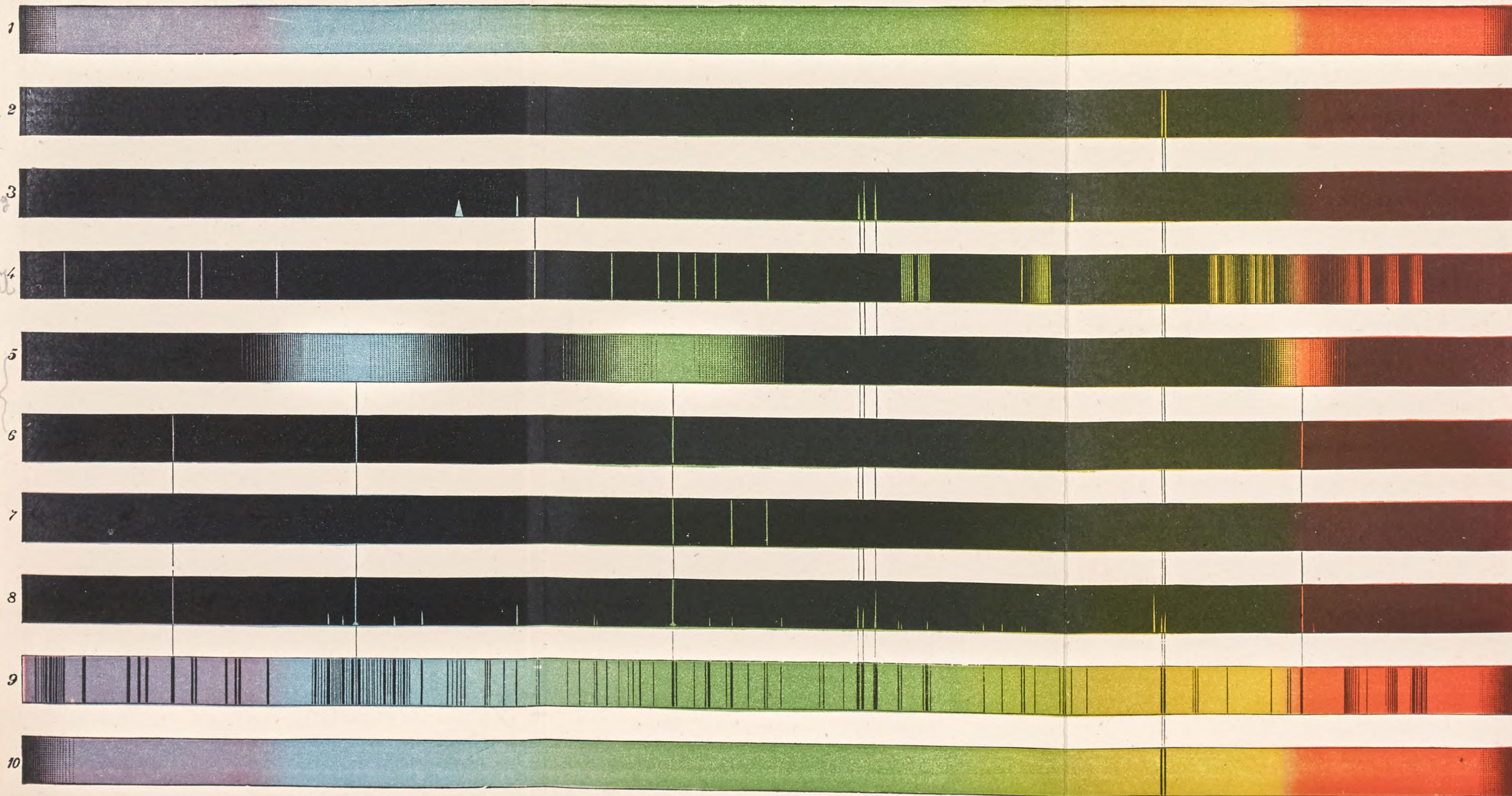
Auf der colorirten Tafel II sind einige Beispiele der verschiedenen in diesem Kapitel erwähnten Arten der Spectra zusammengestellt.

Die erste Gruppe (1—8) enthält Spectra von solchen Lichtquellen, deren Schwingungen uns ungehindert durch den Aether Wellenlänge für Wellenlänge zugesandt werden, während die zweite Gruppe (9 und 10) sogenannte Absorptionsspectra darstellen. Durch diese letztern untersuchen wir den molekularen Bau von Körpern, welche die Aetherschwingungen, von denen sie getroffen werden, Wellenlänge für Wellenlänge aufhalten und schwächen.

Die erste Gruppe zerfällt offenbar in zwei Unterabtheilungen. In der ersten haben wir ein continuirliches Spectrum, die vollständige Reihe von Wellen, welche wir jedesmal erhalten, wenn die Lichtquelle ein im festen oder flüssigen Zustand befindlicher glühender Körper ist. Ein weissglühendes Eisen oder geschmolzenes Eisen sind bekannte Beispiele von solchen Lichtquellen.

In den Fig. 2 — 8 haben wir Beispiele sogenannter Linien- oder Bandenspectra, welche durch leuchtende Dämpfe oder Gase erzeugt werden. Diese erfordern eine eingehendere Betrachtung. In Nr. 2 und 3 haben wir Spectra, welche zwei metallischen Elementen, dem Natrium und Magnesium, angehören. Man wird leicht erkennen, wie verschieden dieselben sind und wie leicht es ist, sich im Gedächtniss oder durch eine Zeichnung die Gruppierung der Linien zu merken, sodass man bei der Spectraluntersuchung eines unbekannten Körpers leicht die Anwesenheit dieser beiden Metalle bemerken wird. Dieser Theil der Tafel könnte die Spectra sämmtlicher Metalle im gasförmigen Zustand enthalten, und doch würde man bemerken, dass jedes derselben von den übrigen so verschieden ist, dass die Erkennung der Unterschiede nicht die geringste Schwierigkeit bietet. In Nr. 4 haben wir ein Beispiel von einem Spectrum eines zusammengesetzten Körpers, nämlich eines Strontiumsalzes. Andere Salze haben ähnliche charakteristische Spectra. Das Spectrum ist wieder von Nr. 2 und 3 vollkommen verschieden, und ähnliche Unterschiede beobachtet man in den Spectren von Verbindungen, die man im gasförmigen Zustand kennt. In Nr. 5 und 6 haben wir Lichtbanden, welche dieselbe Stellung im Spectrum einnehmen, aber in dem einen Fall breit, im andern schmal sind. Beides sind Spectra ein und derselben Substanz, des Wasserstoffs, aber bei verschiedenem Druck.

Fig. 7 und 8 zeigen uns Spectra von Himmelskörpern, nämlich das Spectrum der Nebelflecken und der Sonnen-



chromosphäre. Man wird in diesen Figuren ohne Mühe die Bestätigung der Behauptung finden, dass in einigen Nebelflecken Wasserstoff und in der Sonnenchromosphäre Natrium, Magnesium und Wasserstoff enthalten ist.

Nr. 9 zeigt die Absorption im Sonnenspectrum, Nr. 10 die künstlich erzeugte Absorption durch Natriumdampf. Das Zusammenfallen der Doppellinien im Gelb bildet die Grundlage der Chemie der Sonne und der Sterne.

Der Deutlichkeit halber habe ich mich auf dieser Tafel auf diejenigen Spectra beschränkt, welche Linien enthalten. In dem Folgenden werden wir sehen, dass alle Körper noch eine andere Art von Spectren, die sogenannten cannellirten oder säulenstreifigen Spectra besitzen. Wir werden im Folgenden sowohl diesen, als auch gewissen andern Spectren unsere Aufmerksamkeit zuwenden, die, wie das continuirliche, für manche und höchst wahrscheinlich für alle Körper dieselben oder nahezu dieselben sind. Ich will indess an dieser Stelle nicht näher auf diesen Gegenstand eingehen, sondern das einleitende Kapitel schliessen und dazu übergehen, einige experimentelle Methoden näher darzulegen, durch welche sich diese Erscheinungen hervorrufen lassen.

ZWEITES KAPITEL.

Die Spectralapparate.

In einem andern Werke habe ich die Construction des Spectroskops eingehend erörtert.* In diesem Kapitel beabsichtige ich hauptsächlich die Anwendung desselben im Laboratorium zu besprechen, sowie die verschiedenen Methoden, welche zur Erzeugung der Spectralerscheinungen angewandt werden.

Man muss sich immer vergegenwärtigen, dass das Spectroskop, gleichviel ob es einfach oder complicirt ist, ein Instrument ist, welches uns in den Stand setzt, den Spalt, durch welchen das Licht in dasselbe eindringt, für jede beliebige Wellenlänge des Lichts in der vollkommensten Weise zu beobachten. Wenn das eintretende Licht Strahlen von jeder möglichen Wellenlänge enthält, so folgen die von den einzelnen Strahlengattungen erzeugten Bilder so dicht aufeinander, dass das Spectrum ein ununterbrochenes ist. Wenn dagegen das Licht nicht alle, sondern nur bestimmte Arten von Wellenlängen enthält, sei es, dass die Strahlung eine unvollkommene ist oder dass ein Theil der Strahlen durch Absorption vernichtet ist, so erhalten wir auch nicht alle möglichen, sondern nur einige bestimmte Bilder des Spalts, und das Spectrum ist ein discontinuirliches.

* Das Spectroskop und seine Anwendung (Braunschweig 1874).

§. 1. *Anwendung der Linse.*

Zunächst will ich auf den Unterschied zwischen dem gewöhnlichen Spectroskop und demjenigen aufmerksam machen, welches eine Linse vor dem Spalt hat. Der Zweck derselben ist der folgende. Wenn die Lichtquelle, die uns ihre Strahlen zusendet, eine sehr zusammengesetzte, z. B. ein fester Körper und ein Gemenge verschiedener Gase ist, und wir lassen die verschiedenen Strahlen sozusagen ungeordnet in das Spectroskop eintreten, so erhalten wir an jeder Stelle des Spectrums eine Vereinigung des sämmtlichen Lichts von derselben Wellenlänge, welches von den verschiedensten Lichtwellen erzeugt wird. Erzeugen wir dagegen vermittels einer Linse ein Bild der Lichtquelle, sodass jeder einzelne Bestandtheil des Lichts auf der Platte des Spalts an seine richtige Stelle kommt, so werden die verschiedenen Arten des Lichts getrennt, und wir sind im Stande, alle verschiedenen Erscheinungen, welche uns die einzelnen Lichtquellen bieten, wahrzunehmen, wenn wir das Spectrum durch ein Beobachtungsfernrohr betrachten oder dasselbe photographiren.

Ein sehr einfaches Experiment, welches leicht ein jeder für sich anstellen kann, zeigt deutlich die Verschiedenheit der Resultate, welche man erhält. Beobachten wir z. B. eine Kerzenflamme mit dem Spectroskop in der gewöhnlichen Weise, d. h. indem wir die Flamme in einiger Entfernung vor dem Spalt aufstellen, so bemerken wir vor allem ein farbiges Band, ein continuirliches Spectrum und an einer bestimmten Stelle dieses Bandes eine gelbe Linie, gelegentlich auch in dem grünen und blauen Theil desselben einige andere Linien. Werfen wir dagegen vermittels einer Linse ein Bild der Kerzenflamme auf den Spalt, indem der Spalt horizontal und das Bild vertical steht, so erhalten wir drei vollkommen verschiedene Spectra. Wir

verwandeln so das gewöhnliche (*integrating*) Spectroskop in ein Zerlegungsspectroskop (*analyzing*), wie es von Young passend benannt worden ist. Der innere blaue Theil der Flamme, der am besten am Grunde derselben zu beobachten ist, gibt uns ein Spectrum, der weisse leuchtende Theil derselben ein zweites und der äussere Rand der Flamme, der so schwach leuchtet, dass ihn das Auge kaum bemerkt, gibt uns ein drittes, von den beiden andern verschiedenes Spectrum mit einer Linie in Gelb. Auf diese Weise gelingt es leicht, das gleichzeitige Vorhandensein dreier Lichtquellen, deren jede ihr eigenes Spectrum hat, in einer Kerzenflamme nachzuweisen.

Die erwähnte Methode, die Spectra zu beobachten, welche bei den meisten im Folgenden zu erwähnenden Untersuchungen angewendet wurde, besteht also darin, dass durch eine Linse ein Bild der Lichtquelle auf den Spalt des Spectroskops geworfen wird. Bereits im Jahre 1866 habe ich vorgeschlagen, in dieser Weise ein Bild der Sonne auf den Spalt zu werfen, um kleine Theile des Sonnenkörpers und der umgebenden Atmosphäre spectroskopisch zu untersuchen.

Bei Anwendung dieser Methode fällt offenbar das Bild des Spalts im Spectroskop mit dem Bilde eines Theils der Lichtquelle zusammen. Ist dieselbe ein elektrischer Funke und sind die beiden Pole von Dampfhüllen umgeben, welche verschiedene Spectra geben, so können diese getrennt beobachtet und ihre Uebergänge von einem Pol zum andern verfolgt werden.

Diese Methode wurde von mir und Dr. Frankland bei unsern im Jahre 1869 angestellten Untersuchungen angewandt und in einer im Jahre 1870 in der Royal Institution gehaltenen Vorlesung vorgeführt. Dieselbe Methode wurde in neuerer Zeit mit grossem Erfolg von Salet bei seinen Untersuchungen über die Spectra der Metalloide angewandt.

Die Einrichtung eines Spectroskops mit einer Linse vor dem Spalt wird man leicht aus Fig. 14 erkennen,

welche ein solches Instrument darstellt. Es ist kaum nöthig zu bemerken, dass eine wesentliche Bedingung dieser Methode darin besteht, dass das Objectiv des

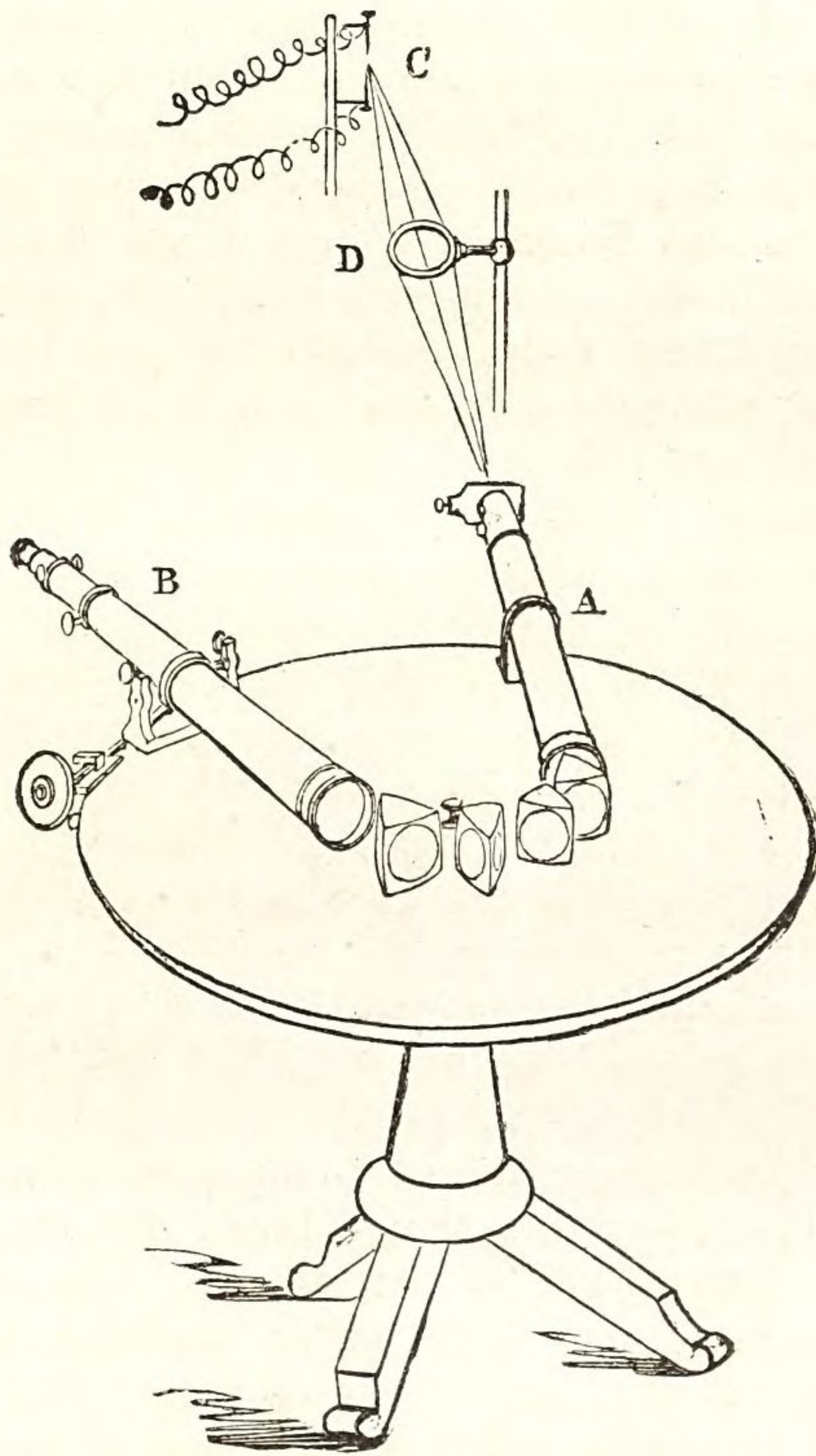


Fig. 14. Das Zerlegungsspectroskop.

A Collimator. B Beobachtungsfernrohr. C Elektr. Funken. D Linse.

Collimators vollständig beleuchtet wird und kein Licht verloren geht. Solange diese Bedingung erfüllt ist, können auch anstatt der einen mehrere Linsen angewandt und die Grösse des Bildes nach Belieben ge-

ändert werden, und doch wird die Helligkeit des Spectrums für alle gewöhnlichen Fälle genügen.

Wir verwandeln das Metall, aus welchem die Pole bei *C* in Fig. 14 bestehen, in Dampf und der Dampf wird glühend. Daher besteht das Spectrum, welches wir erhalten, aus hellen Linien. Stellen wir nun den Polen einfach das Spectroskop ohne Linse gegenüber, so haben wir in jedem Theile des Spectrums Licht von allen Theilen des Funkens. Werfen wir dagegen vermittels einer Linse ein Bild des Funkens auf den Spalt, so ist jeder Streifen des gesammten sichtbaren Spectrums das Spectrum eines besondern Theils des Dampfs.

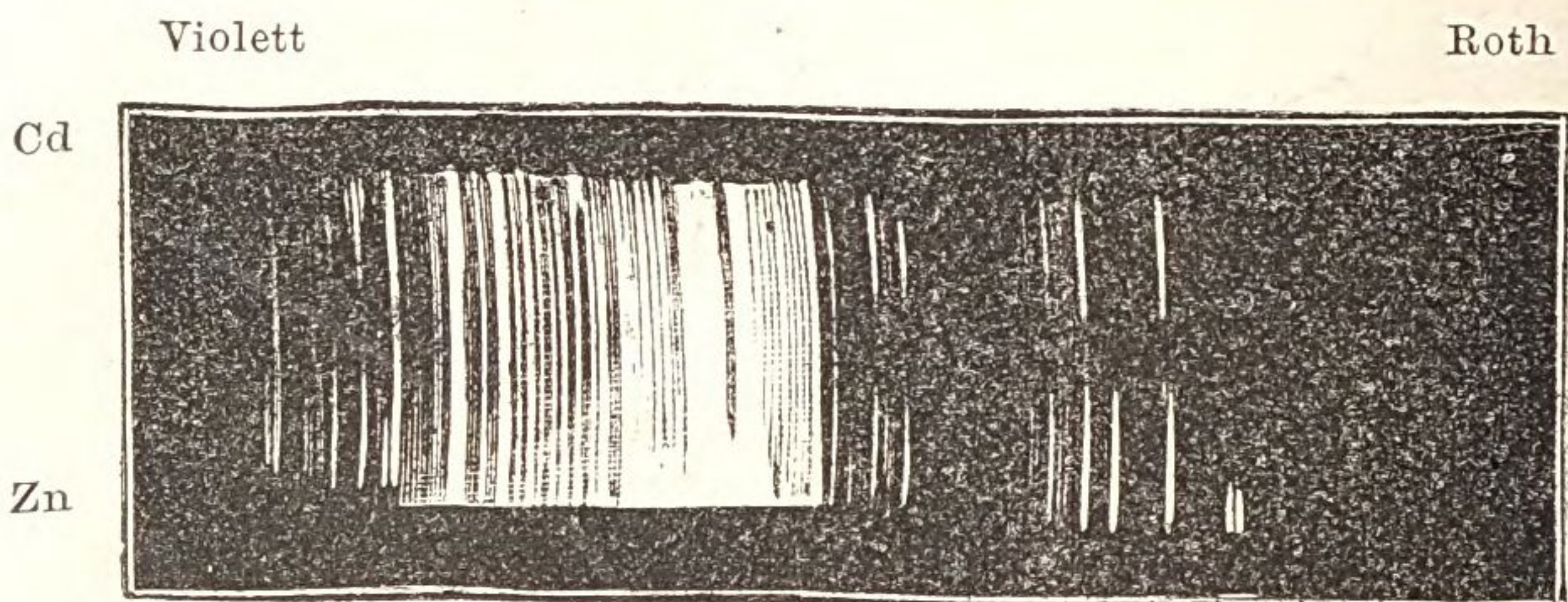


Fig. 15. Copie einer Photographie des Funkenspectrums zwischen Polen von Zink und Cadmium, die drei getrennten Spectra zeigend.

Die Pole geben fortwährend Dämpfe ab, welche sich abkühlen, theils oxydirt, theils durch die entstehenden Luftströmungen hinweggeführt werden. Was folgt daraus? Dass sich in unmittelbarer Nähe der Pole mehr Dampf befinden muss als in dem Zwischenraum zwischen denselben. Dieser Unterschied wird um so bedeutender sein, je mehr wir diesen Zwischenraum vergrößern. Wenn die Pole aus zwei verschiedenen Elementen bestehen, so beobachten wir zwischen denselben drei verschiedene Spectra (Fig. 15). In dem obern Theil des Gesamtspectrums ist der Dampf des untern, in dem untern Theil der Dampf des obern Pols vorherrschend, während in der Mitte keiner der beiden vorwiegt.

Wir haben also in dem Spectrum sozusagen drei Schichten, das Spectrum vom Dampf des obern Pols, des untern Pols und der mittlern Region. Die Menge der Dampfpartikelchen nimmt von jedem Pol gegen den andern hin ab.

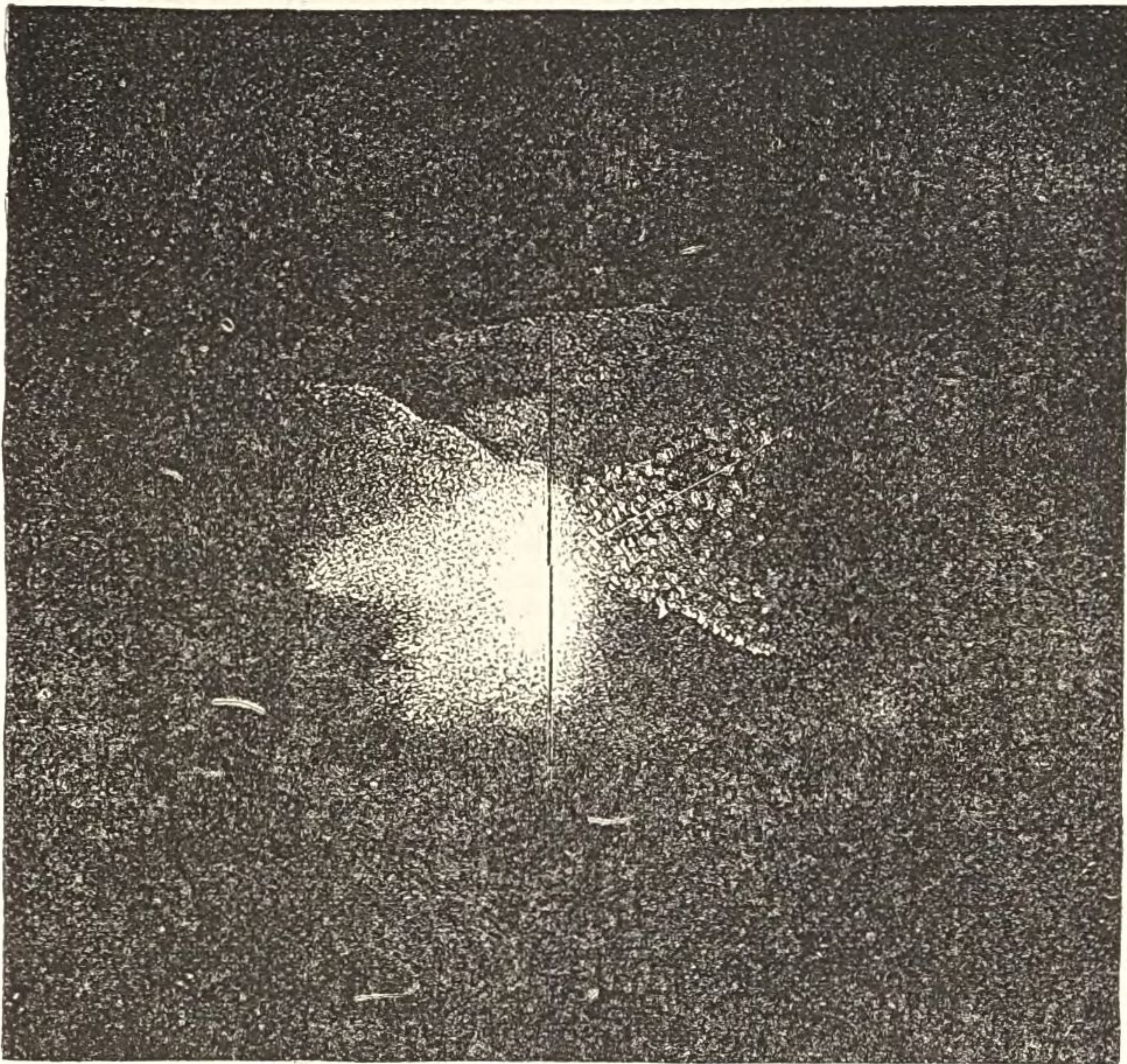


Fig. 16. Horizontaler Natriumflammenbogen auf einen verticalen Spalt geworfen (nach einer Photographie).

Wir erhalten eine ganz ähnliche Erscheinung, wenn wir uns statt des elektrischen Funkens des elektrischen Flammenbogens bedienen, in welchem der Dampf der glühend gemachten Substanz den ganzen Zwischenraum zwischen den beiden Polen so ausfüllt, dass die Menge der Theilchen nach dem Rande des Bogens hin geringer wird. Wir können jetzt das Bild eines solchen horizontalen Bogens auf einen verticalen Spalt werfen

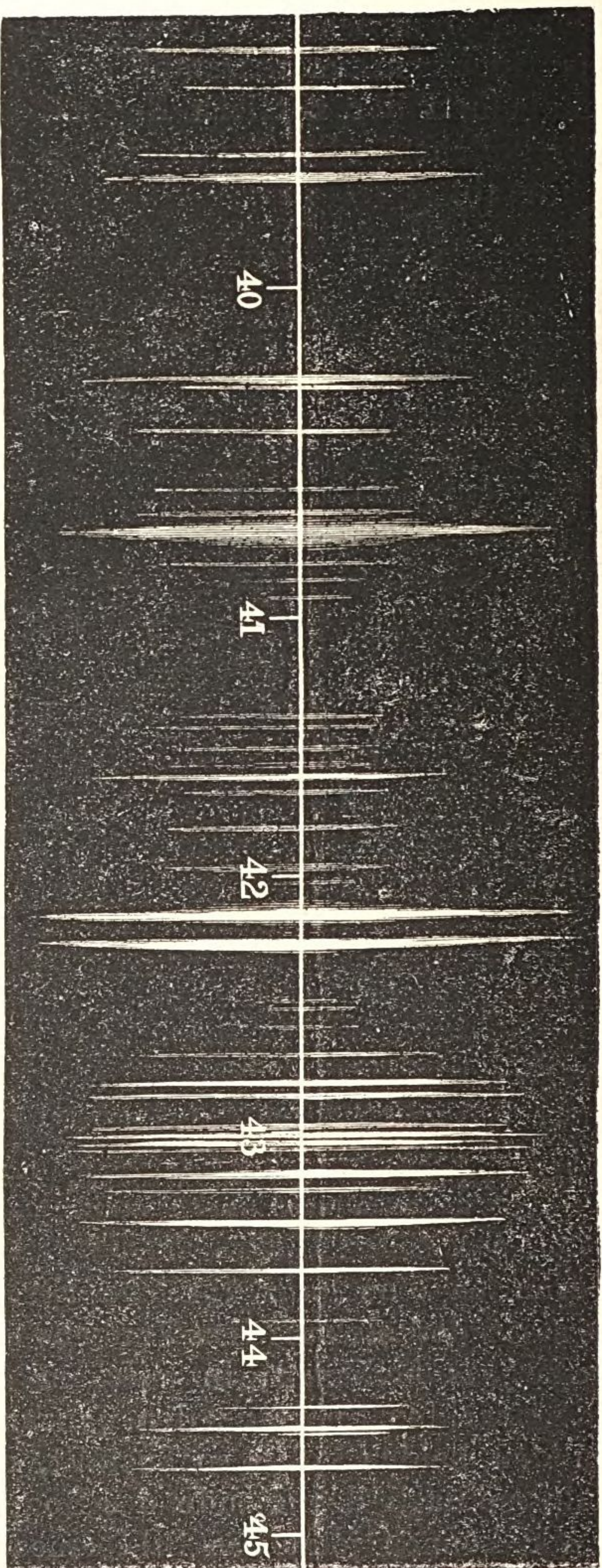


Fig. 17. Lange und kurze Linien.

Die Figur stellt die Copie einer Photographie des Spectrums dar, welches stark mit Calcium imprägnirtes Strontiumsalz erzeugt, wenn es zwischen den horizontalgestellten Polen einer elektrischen Lampe verdampft. Die beiden längsten Linien zwischen 42 und 43 gehören dem Strontium und Calcium, die längste Linie zwischen 40 und 41 dem Strontium an; die vier kurzen Linien links sind durch Verunreinigungen des Calciums und Aluminiums in den Kohlenpolen verursacht.

und erhalten so das Spectrum eines zur Achse des Bogens senkrecht stehenden Abschnitts desselben. Fig. 17 ist eine Nachbildung einer Photographie eines solchen Spectrums, in welchem ich die verschiedene Länge der Linien zu beachten bitte. Der Dampf, welcher am weitesten vom Kern des Bogens entfernt ist, hat ein viel einfacheres Spectrum als der Dampf im Kern des Bogens selbst. Das Spectrum des Kerns besteht aus einer grossen Anzahl von Linien, die gegen den Rand des Bogens nach und nach bis auf eine einzige verschwinden, die das Spectrum der äussersten Dampfhülle bildet.

Um diese Verschiedenheit der Erscheinungen mit Hülfe der elektrischen Lampe sichtbar zu machen, benutzen wir zunächst in der gewöhnlichen Weise die Pole als Lichtquelle und bringen in den untern Pol eine Substanz, welche uns die erwähnte gelbe Linie erzeugt. Wir haben also eine gemischte Lichtquelle und erhalten daher auch ein gemischtes Spectrum, in welchem bei Anwendung der gewöhnlichen Methode das Licht beider Quellen vermischt ist. Indess ist auch eine andere Anordnung möglich.

Bei Anwendung der elektrischen Lampe ist es nicht gut möglich, vermittels einer Linse ein Bild der Kohlenpole auf den Spalt zu werfen. Wir erreichen indess nahezu dieselbe Wirkung, wenn wir den Spalt in unmittelbare Nähe der Kohlenspitzen bringen. Fig. 18 zeigt uns eine solche Anordnung, in welcher der Spalt die Lichtquelle fast berührt, sodass, wenn in den verschiedenen Theilen der Lichtquelle Verschiedenheiten stattfinden, wir dieselben in dem Spectrum auf dem Papierschirm wahrnehmen.

Nach der gewöhnlichen Methode erhalten wir bei Anwendung von Natrium ein oben und unten scharfbegrenztes continuirliches Spectrum mit vier für das Natrium charakteristischen Doppellinien in Roth, Gelb, Grün und Blau. Aendern wir aber in der angegebenen Weise die Stellung des Spalts, während alle übrigen

Bedingungen dieselben bleiben, so erhalten wir ganz andere Erscheinungen als im ersten Fall.

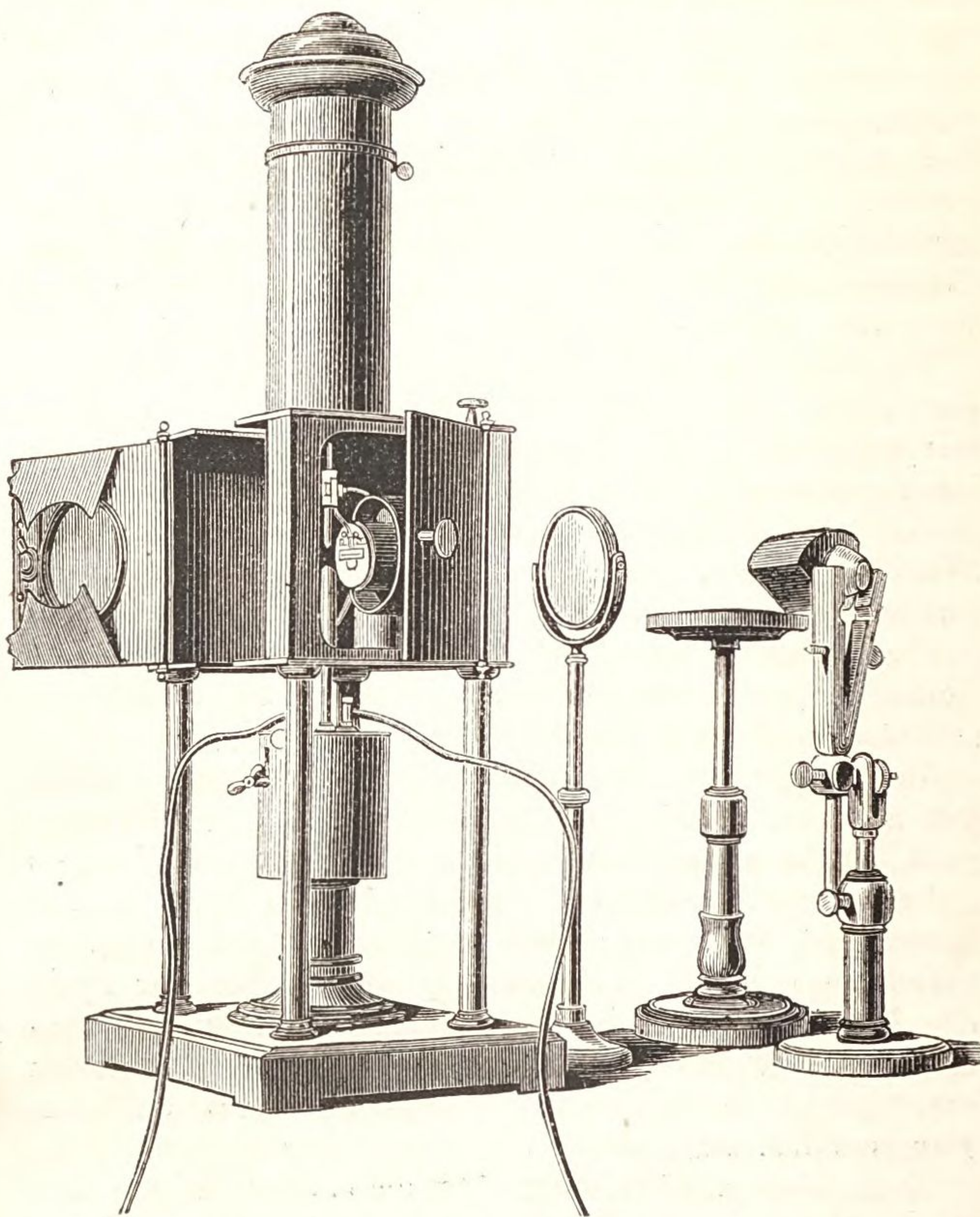


Fig. 18. Einrichtung der elektrischen Lampe zum Nachweis des Vorhandenseins langer und kurzer Linien.

Wir erhalten so die hellen Linien ohne continuirliches Spectrum, die Linien haben verschiedene Länge, und wenn der Abstand der beiden Pole vergrößert

wird, erscheint eine einzige Linie, viel heller als alle übrigen. Bei Anwendung von Natrium bleibt die gelbe Linie sichtbar, wenn alle andern bedeutend schwächer geworden oder bereits vollständig verschwunden sind.

Dies Beispiel zeigt uns die Verschiedenheit der Erscheinungen, je nachdem wir dieselben nach der alten oder neuen Methode beobachten.

Ein so eingerichtetes Spectroskop ist in der That im Vergleich mit der ältern Einrichtung ein ganz neues Instrument.

§. 2. *Strahlungserscheinungen.*

Bei der Besprechung der verschiedenen Methoden in der Anwendung des Spectroskops können wir zweckmässig zwei Gebiete von Erscheinungen unterscheiden, von denen das eine die Ausstrahlung des Lichts, das andere die Absorption desselben betrifft. Um aber von irgendeiner Substanz eine Ausstrahlung von Licht zu erhalten, müssen wir dieselbe in irgendeiner Weise in Schwingung versetzen. Wenn wir es mit einer gewissen, später näher zu bezeichnenden Klasse von Substanzen zu thun haben, so lässt sich die zur Strahlung erforderliche Schwingung bequem durch Anwendung von Wärme hervorrufen. In andern Fällen lässt uns dagegen die Wärme im Stich und wir müssen unsere Zuflucht zur Elektricität nehmen.

Das Instrument, welches allgemein angewendet wird, um die Wirkung der Wärme auf die Salze der meisten Metalle zu zeigen, ist ein Bunsen'scher Brenner, der allein oder nebst einer Linse vor den Spalt des Spectroskops aufgestellt wird. Die auf diese Weise beobachteten Spectralerscheinungen können leider nicht vermittels der elektrischen Lampe auf einen Schirm geworfen werden, da die Elektricität in ihrer Wirkung so sehr von der Wärme verschieden ist, dass wir bei Anwendung der elektrischen Lampe auf diese Salze sofort ganz verschiedene Erscheinungen erhalten.

Wenn wir zur Erregung der Schwingungen nicht die Wärme, sondern die Elektrizität benutzen wollen, so sind wir genöthigt, verschiedene Apparate anzuwenden, je nachdem wir feste oder gasförmige Substanzen untersuchen wollen. Im ersten Falle lässt man den Funken einer Inductionsrolle zwischen verschiedenen Metallen überspringen, die zweckmässig an einem Halter von kreisförmiger Gestalt angebracht werden, in dessen Umfang sich eine Reihe von Klemmen befindet, die der Reihe nach durch Drehung unter eine obere feste Klemme gebracht werden können. Die Einrichtung kann so getroffen werden, dass der Funke überspringt, wenn die bewegliche und die feste Elektrode senkrecht übereinander dem Spalt des Spectroskops gegenüberstehen. Diese Einrichtung bietet die grosse Bequemlichkeit, dass man beim Beginn einer Reihe von Versuchen diese einzelnen Halter mit denjenigen Metallen versehen kann, deren Beobachtung beabsichtigt wird. Dieselben werden dann einfach durch Drehung vor den Spalt des Spectroskops gebracht. Damit die Spectra möglichst deutlich sind, muss der Abstand der Elektroden besonders regulirt, und wenn eine Leydener Flasche benutzt wird, dieselbe von passenden Dimensionen gewählt werden, damit der Funke möglichst constant ist.

Zur Beobachtung der Funkenspectra der Salze empfiehlt sich die folgende von Friswell angegebene Methode. Einige Stückchen Aluminiumdraht von ungefähr 10 Millimeter Länge und 3 Millimeter Durchmesser werden an dem einen Ende bis etwa ein Drittel der Länge plattgeschlagen, um in einem für diese Zwecke gebräuchlichen Auslader eingeschaltet zu werden. An dem andern Ende wird eine kegelförmige Vertiefung von 2—3 Millimeter eingedreht, von der Seite her ein feines Loch nach dem Grunde dieses Trichters gebohrt und das plattgeschlagene Ende sorgfältig gespalten. Durch das seitliche Loch wird ein feiner Platindrath von 0,5 Millimeter Durchmesser gezogen, sodass er in

der Mitte der trichterförmigen Vertiefung steht, während das andere Ende durch das gespaltene Ende des Aluminiumdrahts durchgezogen wird. Dann wird der Spalt durch Zusammenpressen im Schraubstock ge-

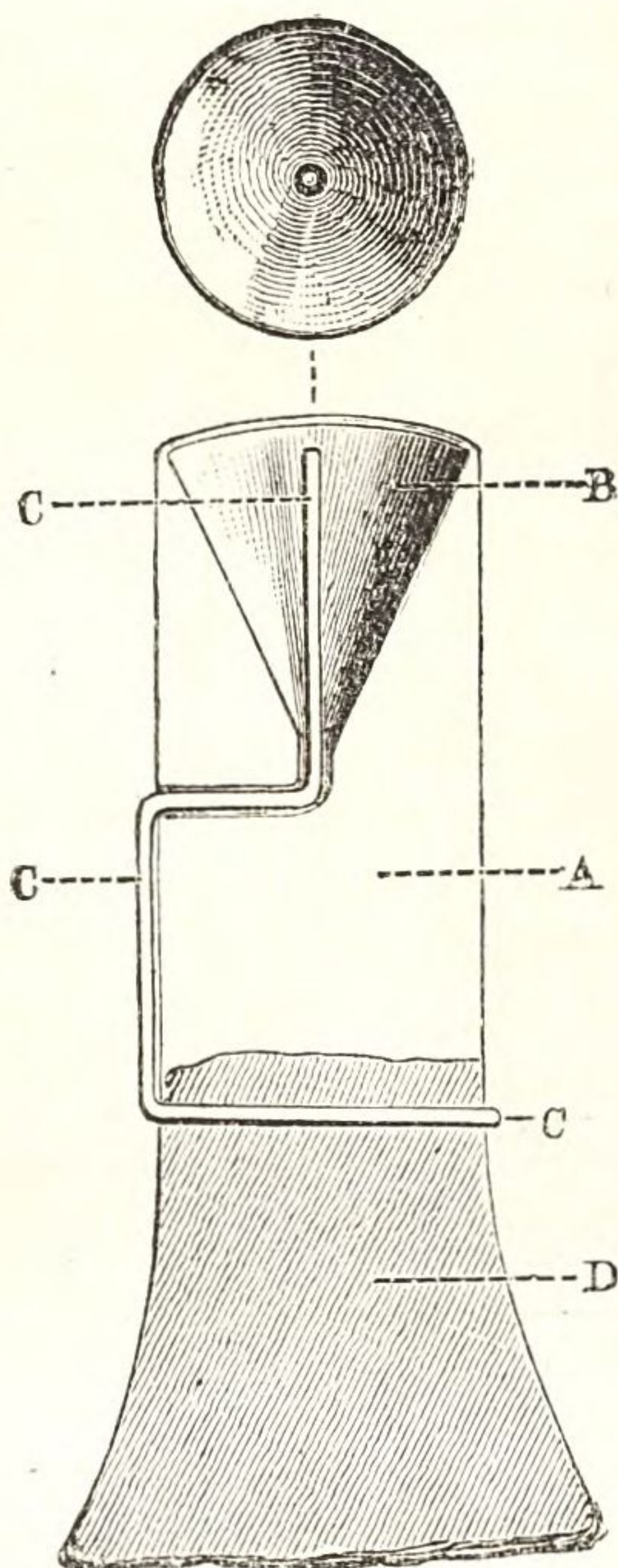


Fig. 19. Aluminiumbecherchen zu Erzeugung der Salzspectra.

A Aluminiumdraht. *B* Trichterförmige Vertiefung. *C* Platindraht. *D* Plattgeschlagenes und gespaltene Ende des Aluminiumdrahts.

schlossen und die Enden des Platindrahts werden abgeschnitten. Das Ganze hat jetzt die Gestalt einer kleinen Kerze, deren Docht durch den Platindraht vorgestellt wird. Die Figuren 19 und 20 werden diese Einrichtung veranschaulichen. Der Zweck des Platin-

drahts ist, das Ueberspringen des Funkens so zu regeln, dass er die Mitte des trockenen Salzes trifft. Ohne dies Mittel würde der Funke sehr unbeständig bald die eine, bald die andere Stelle des Randes treffen. Das Salz wird in Form eines feinen Pulvers rings um den Platindraht in das Becherchen eingedrückt.

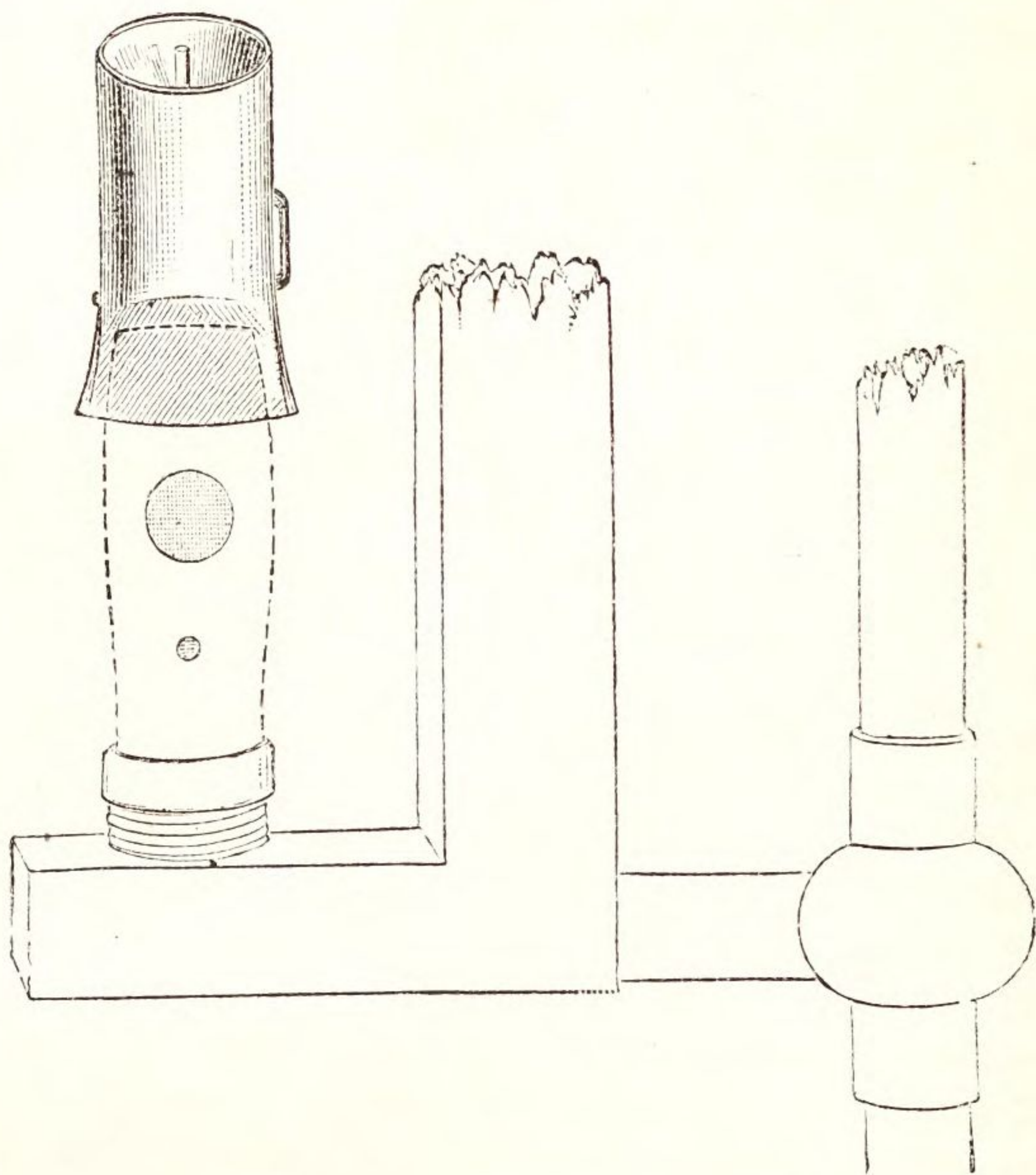


Fig. 20. Aluminiumbecherchen im Auslader befestigt.

Zur Untersuchung der Spectra von metallischem Barium, Strontium, Lithium u. s. w. kann ein ähnliches Aluminiumbecherchen ohne Platindraht angewendet werden, in welches das Metall hineingehämmert wird.

Ein solches Aluminiumbecherchen bilde den untern Pol in dem Auslader, während der obere aus Kupfer bestehen kann, da dies Metall ein guter Leiter der

Elektricität ist und ein leicht zu erkennendes Spectrum besitzt.

Soll das Spectrum von Salzen in andern Gasen als in atmosphärischer Luft untersucht werden, so werden die Salze in die kleinen Aluminiumbecherchen eingedrückt und diese an Kupferstäbchen befestigt, welche durch einen Kork in das Innere einer weiten Glasröhre hineinragen. Als entgegengesetzter Pol dient eine Aluminiumspitze, die ebenfalls an einer Kupferspitze befestigt ist, die den Kork durchdringt, durch welchen das andere Ende der Glasröhre verschlossen ist. Beide Korke sind ausserdem durchbohrt und mit engen Glasröhrchen versehen. Durch eines derselben lässt man das Gas eintreten, während es durch das andere entweicht.

Man lässt das sorgfältig gereinigte und getrocknete Gas in einem langsamen Strom in das Rohr eintreten und dann den elektrischen Funken durchschlagen.

Auch bei der Untersuchung der Gasspectra kann ein drehbarer Halter benutzt werden. Eine Anzahl von Geissler'schen Röhren, die mit verschiedenen sehr verdünnten Gasen gefüllt sind, sind so gefasst, dass, wenn eine derselben durch Drehung des Halters vor den Spalt kommt, dieselbe mit den Polspitzen in Berührung kommt und das Gas durch den elektrischen Strom leuchtend gemacht wird. Auf diese Weise ist es möglich, in kurzer Zeit eine grosse Anzahl von vergleichenden Beobachtungen vorzunehmen. Um Gase bei gewöhnlichem Druck zu untersuchen, werden die Elektroden in einem Rohre, durch welches man einen Strom des betreffenden Gases streichen lässt, so angebracht, dass man den Abstand derselben nach Belieben ändern kann.

Bei der Untersuchung der Spectra von Dämpfen und Gasen ist es oft nöthig, auch Beobachtungen über die Spectra von Lösungen anzustellen.

Diese Beobachtungen lassen sich in verschiedener Weise ausführen. Die zu untersuchende Flüssigkeit wird in ein kleines Glasgefäss gebracht, sodass sie

genau die Spitze eines Platindrahts berührt, welcher in den Boden des Gefässes eingelassen ist. Lässt man nun den elektrischen Funken von dieser Platinspitze zu einer zweiten an dem obern Ende des Gefässes angebrachten Spitze überspringen, so lässt sich das Spectrum bequem beobachten. Diese Methode hat indess den grossen Nachtheil, dass sich die Menge der Lösung zwischen den Polen beständig ändert. Dies wird durch eine Verbesserung vermieden, welche vor kurzem zwei Zuhörer Dumas', Delachanal und Mermet, vorgeschlagen haben. Dieselben benutzen ein gewöhnliches Reagenzgläschen, in dessen Boden ein Platindraht eingeschmolzen und welches mit einem Kork verschlossen ist, durch welchen ein in ein Glasrohr eingelassener Platindraht eingeführt werden kann. Die besondere Einrichtung dieses Apparates besteht nun darin, dass auf dem Boden des Gläschens eine feine Spitze einer Glasröhre befestigt und die Höhe der Flüssigkeit so regulirt wird, dass eine gewisse Menge der Flüssigkeit zwischen dem untern Ende der Glasspitze und dem Boden des Glases eindringt und durch Capillarität in der Spitze emporsteigt. Sobald das Röhrchen gefüllt ist, fliesst die weiter eindringende Flüssigkeit am Rande herab und man erreicht so eine grosse Beständigkeit in der Menge der verdampfenden Flüssigkeit.

Diese Methode bietet die folgenden Vorthelle: 1) Der Funken ist beständig und gestattet eine dauernde Beobachtung; 2) die Bildung eines Meniscus ist vermieden und folglich auch die Absorption, die er durch theilweise Bedeckung des Funkens bewirkt; 3) die Elektroden sind in einem besondern Rohr eingeschlossen, wodurch die Flüssigkeit vor Berührung mit Verunreinigungen geschützt ist; 4) es ist möglich, die ganze untersuchte Flüssigkeit zu sammeln, und 5) ist es möglich, eine ganze Reihe von solchen Röhren zusammenzustellen, wodurch die Vergleichung verschiedener Flüssigkeitsspectra erleichtert wird.

Beim Gebrauch dieses Apparates giesst man die

Flüssigkeit, welche untersucht werden soll, in die Röhre, sodass die Elektrode f und das Röhrchen D nur bis zur Hälfte in dieselbe eintauchen. Ist ab das Niveau

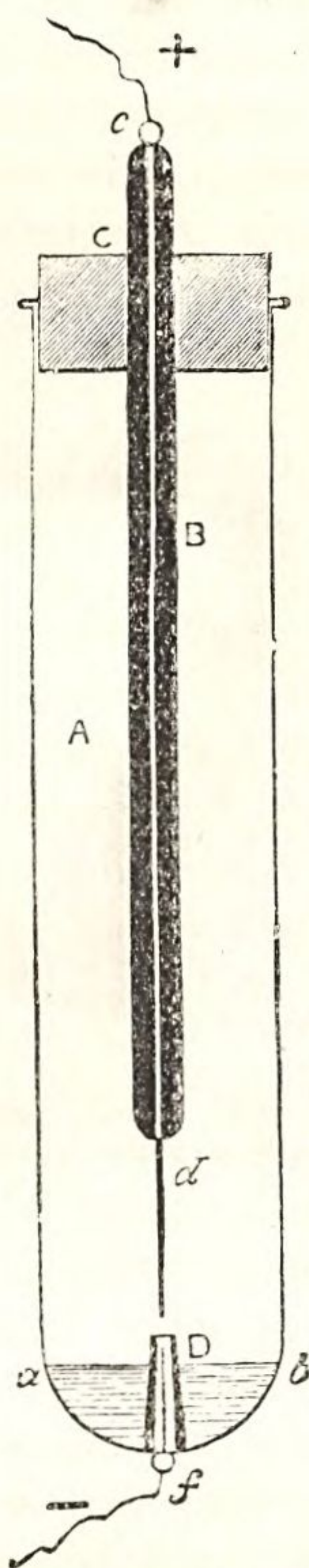


Fig. 21. A Röhre, 11 Centimeter lang, welche die zu untersuchende Flüssigkeit enthält. B Capillarröhrchen mit der obern Elektrode cd . C Kork, der die Röhre verschliesst, B hält und leicht zu verschieben gestattet. D feines, schwach kegelförmiges Capillarröhrchen, welches die untere Elektrode f bedeckt. d obere, f untere Elektrode. ab Niveau der Flüssigkeit.

der Flüssigkeit, so steigt dieselbe unter dem Einfluss der Capillarkraft bis zur Spitze D , wo sich ein unbe-

weglicher Tropfen bildet, der in Dampf verwandelt wird, sobald man die Pole eines Inductionsstroms bei *c* und *f* befestigt. Die Beobachtungen können dann lange Zeit ohne Unterbrechung fortgesetzt werden, so dass man das Spectrum mit der grössten Bequemlichkeit beobachten und zeichnen kann.

Es gibt noch eine andere Methode zur Beobachtung der Spectra von Lösungen, die ich in neuerer Zeit mit Erfolg angewandt habe. Zu diesem Zweck eignen sich die von den Aerzten benutzten kleinen Inhalations-

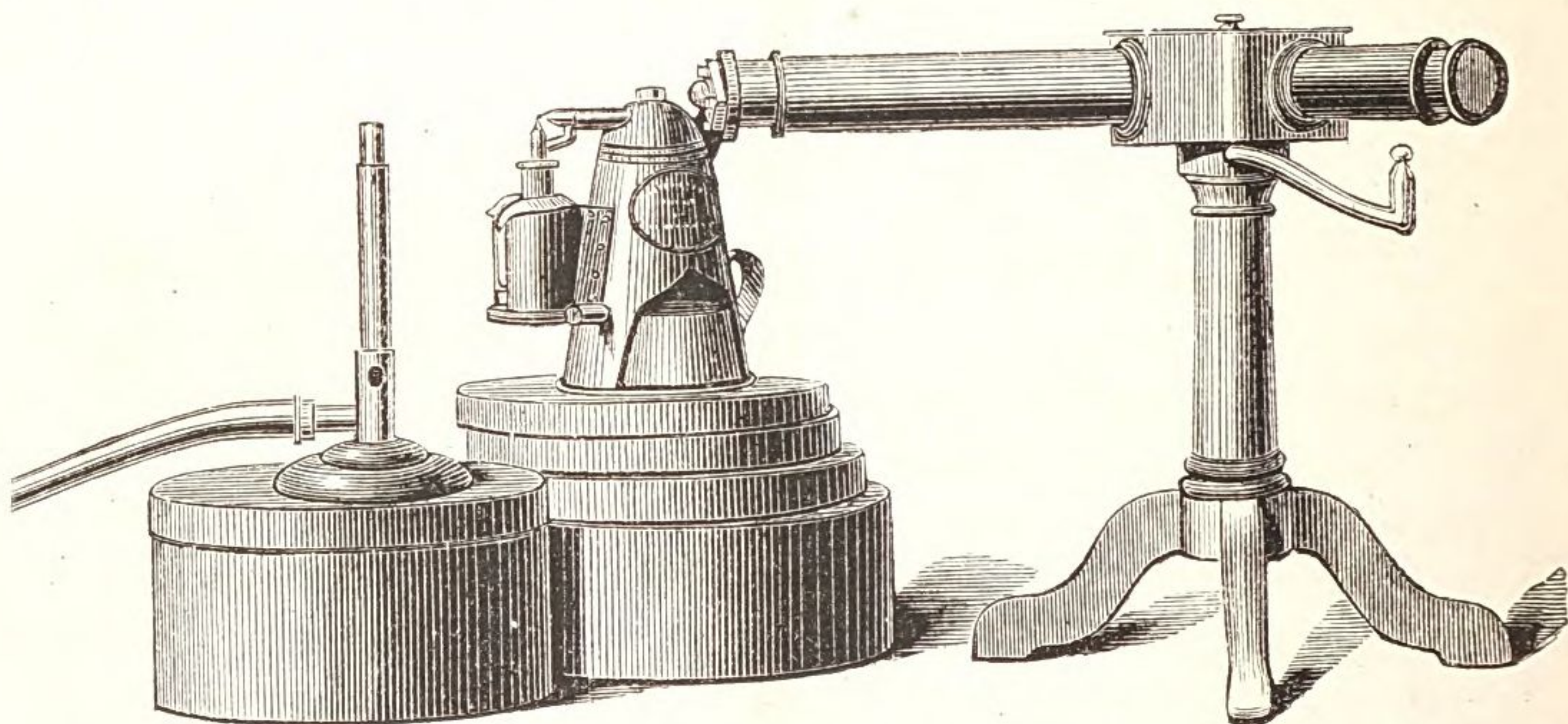


Fig. 22. Untersuchung der Spectra von Salzlösungen durch Einblasen derselben in die Flamme.

apparate ausgezeichnet (Fig. 22). In dem obern Theil befindet sich Wasser, welches durch eine Flamme zum Sieden erhitzt wird. Der Dampf kann nur durch eine einzige Oeffnung entweichen und streicht über das obere Ende eines Glasröhrchens, dessen unteres Ende in ein Gefäss eingetaucht ist, welches die zu untersuchende Flüssigkeit enthält. Die Wirkung dieses Dampfstrahls besteht nun darin, dass in dem Glasröhrchen ein luft-leerer Raum erzeugt und infolge dessen die Flüssigkeit in die Höhe gesogen wird. Wenn dieselbe die feine Spitze des Röhrchens erreicht, so wird sie in dem Dampfstrahl ausserordentlich fein zerstäubt, was für

die Beobachtung dieser Art von Erscheinungen ausserordentlich zweckmässig ist. Lässt man nun den Dampfstrahl in die Flamme eines Bunsen'schen Brenners eintreten, so wird dieselbe in ihrer ganzen Ausdehnung mit der feinvertheilten Salzlösung imprägnirt.

Leider ist es nicht möglich, diese Erscheinungen einem grössern Zuhörerkreise sichtbar zu machen.

Nehmen wir das Salz und setzen es der Einwirkung der Elektrizität in der Lampe aus, so erhalten wir aus einem später anzuführenden Grunde die Spectra der Metalle selbst, nicht diejenigen ihrer Salze.

§. 3. *Absorptionserscheinungen.*

Wir wollen nun die Betrachtung der Strahlungserscheinungen im allgemeinen, sowie der Methoden, verschiedene Lichtquellen zu erzeugen und ihre Spectra zu beobachten, verlassen und uns etwas näher mit den Absorptionserscheinungen beschäftigen. Hiermit betreten wir ein Gebiet, welches ganz andere Methoden des Experimentirens erfordert. Bei den Untersuchungen dieser Art haben wir es nicht mehr mit den verschiedenen Arten des Lichts zu thun, welche die Körper ausstrahlen, sondern wir haben die Wirkung verschiedener Körper auf Licht zu beobachten, welches alle sichtbaren Strahlen von den verschiedensten Graden des Brechungsvermögens enthält.

Bei diesen äusserst interessanten Untersuchungen genügt für die gewöhnlichen kleinern Experimente im Laboratorium ein Kerzenlicht, eine Gasflamme oder irgendeine andere Lichtquelle, die uns weisses Licht liefert. Für die Zwecke von Vorträgen ist die elektrische Lampe vorzuziehen, da sie uns das hellste weisse Licht gibt, welches wir erzeugen können.

Wenn die zu untersuchende Substanz ein fester Körper ist, z. B. verschieden gefärbte Gläser, so hat man denselben einfach vor den Spalt des Spectroskops,

beziehungsweise vor den Spalt der elektrischen Lampe zu halten und zu beobachten, welche bestimmten Lichtstrahlen von demselben nicht durchgelassen werden. Allein wie wir unsere Untersuchungen über die Strahlung nicht auf feste Körper beschränkt haben, so wollen

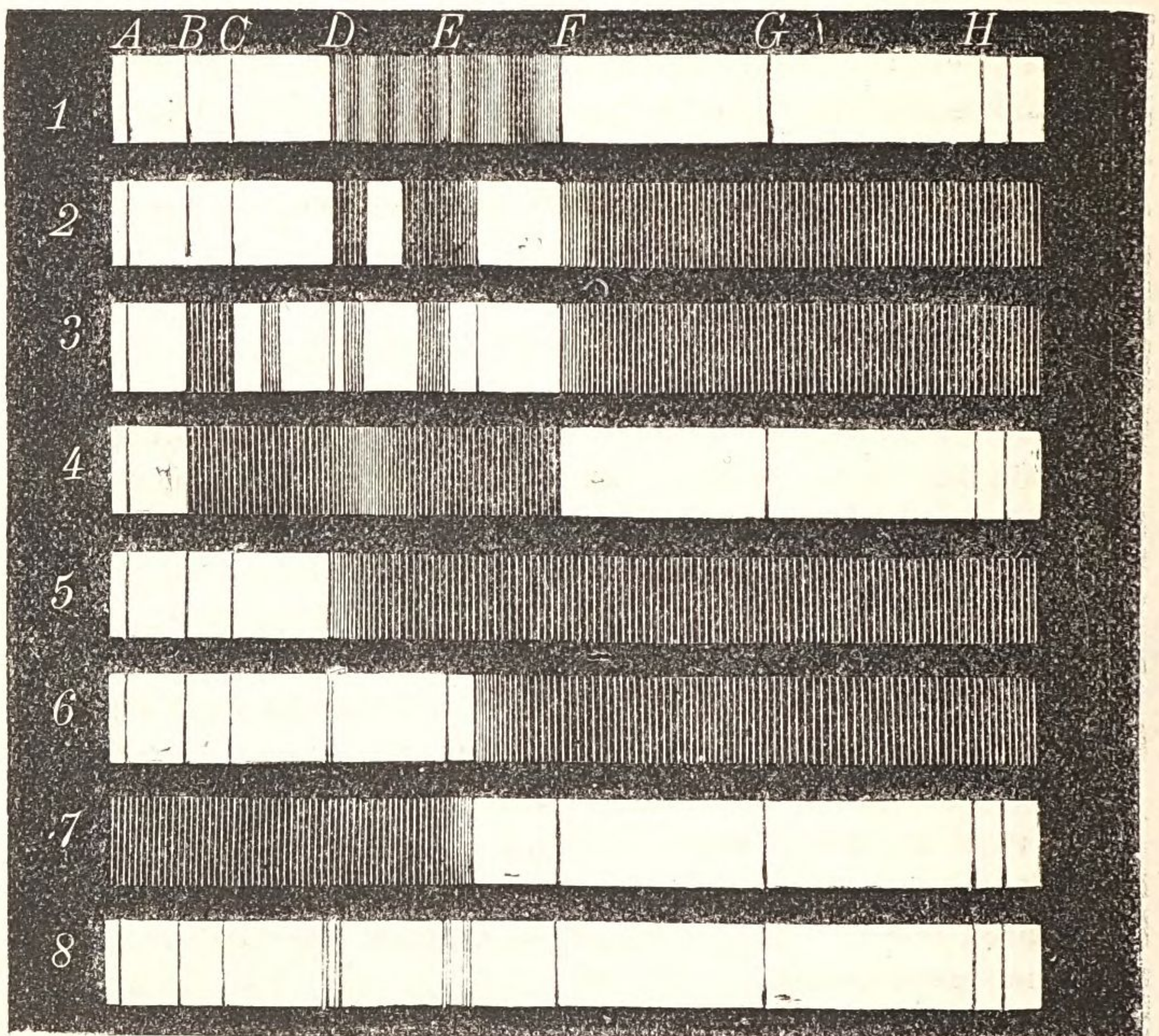


Fig. 23. Absorptionsspectra. 7. Absorption des rothen Endes des Spectrums; 5. u. 6. Absorption des blauen Endes; 1. Absorption durch Kaliumpermanganat; 2. durch Blut; 3. durch Chlorophyll; 4. durch Kobaltglas (ohne die charakteristische Structur des Streifens); 8. durch Didymglas.

wir auch untersuchen, welche Erscheinungen sich uns darbieten, wenn wir das Licht durch Dämpfe, Gase oder Flüssigkeiten hindurchgehen lassen. Die Untersuchung kann in verschiedener Weise ausgeführt werden. Betrachten wir die Untersuchung eines Dampfs etwas

näher. Die farblosen Gase kommen nicht in Betracht, da die Absorption derselben ausserhalb des Bereichs unsers Wahrnehmungsvermögens liegt. Dagegen besitzen viele Dämpfe eine sehr bestimmte Farbe, ein Beweis, dass sie eine innerhalb der Grenzen unserer Wahrnehmung liegende bestimmte Art von Lichtstrahlen absorbiren. Wenn die Farbe sehr intensiv ist, so dürfen wir nur eine Dampfschicht von verhältnissmässig geringer Dicke anwenden. Man wendet zu diesen Untersuchungen zweckmässig eine Röhre an, die so aufgestellt wird, dass ihre Achse in die Verbindungslinie der Lichtquelle und des Spaltes fällt. So passirt das Licht, bevor es in das Spectroskop tritt, den Dampf, und es ist leicht zu beobachten, welche Strahlengattungen durch den Dampf absorbirt werden. Je schwächer die Farbe des Dampfs ist, ein desto längeres Rohr müssen wir anwenden. Ist derselbe scheinbar farblos und haben wir dennoch Grund, die Möglichkeit einer Absorption anzunehmen, so muss ein sehr langes Rohr benutzt werden. So habe ich ein Rohr zur Beobachtung eines Gemenges von Ozon und Sauerstoff eingerichtet, bei dessen Gebrauch das Licht erst einen Weg von 120 Fuss (36,6 Meter) in dem Gas zurücklegt, bevor es in das Spectroskop tritt. Das Rohr selbst ist nicht 120, sondern nur 40 Fuss lang. Durch zwei an den Enden des Rohrs angebrachte Spiegel bewirke ich, dass der Lichtstrahl erst dann in das Spectroskop eintritt, nachdem er dreimal das Rohr durchlaufen hat.

Solche Röhren eignen sich sehr gut zur Beobachtung von Dämpfen bei gewöhnlicher Temperatur. Wir können indess unsere Beobachtungen nicht auf diese Temperatur beschränken, da bei derselben sehr viele Körper keine Dämpfe von sich geben. Um die Dämpfe von Natrium, Platin, Eisen und andern Metallen zu beobachten, müssen wir hohe, in einzelnen Fällen sehr hohe Temperaturen anwenden. Zu diesem Zweck bedient man sich eines eisernen Rohrs, welches in einem Ofen erhitzt wird. Dasselbe wird mit Wasserstoff gefüllt und das Metall,

welches untersucht werden soll, durch ein seitliches Rohr in dasselbe hineingebracht, sobald es bis zur Rothglut oder Weissglut erhitzt ist. Das Metall gleitet durch dieses Rohr hinab und fällt in den am stärksten glühenden Theil des erhitzten Rohrs. An dem einen Ende dieses letztern wird eine elektrische Lampe, an dem andern ein Spectroskop aufgestellt. Auf diese Weise lässt sich die Absorption metallischer Dämpfe bei mässig hohen Temperaturen bequem beobachten.

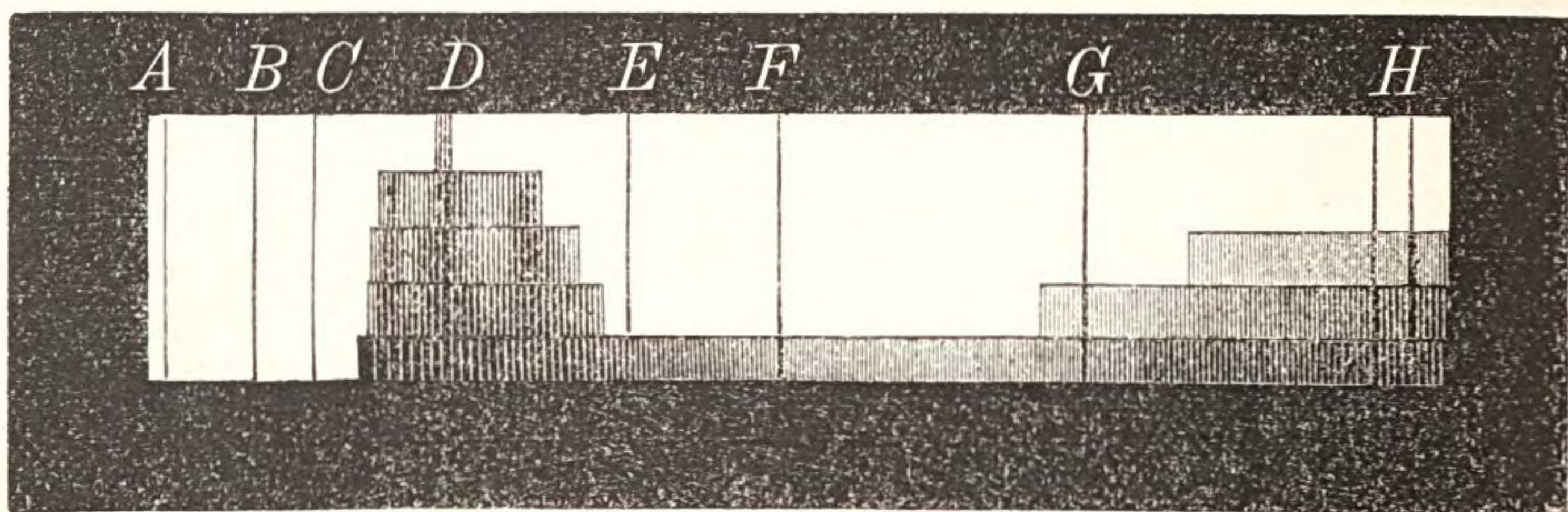


Fig. 24. Absorption durch den Lackmusfarbstoff bei verschiedener Dicke der absorbirenden Schicht.

Ich bediene mich eines Rohrs von 3 Fuss (1,22 Meter) Länge, an welchem ich nach dem Vorschlag von Professor Dewar in der Mitte ein seitliches Rohr eingeschraubt habe, welches aus einer Oeffnung in dem Deckel des Ofens hervorragt. Das Ganze hat so die Gestalt eines T. Die beiden Enden des Hauptrohrs sind durch angeschraubte Kapseln verschlossen, die am Ende eine Glasplatte und an der Seite eine kleine Röhre tragen, durch welche man Wasserstoff oder ein anderes Gas in das glühende Rohr eintreten lassen kann. Der Ofen wird mit Coks oder Holzkohlen geheizt. Bei den durch diesen Ofen erreichten Temperaturen kann man zweckmässig die folgenden vier Stufen unterscheiden:

I. Das continuirliche Spectrum des Rohrs reicht bis zur Natriumlinie *D*, ohne dass die Linie selbst sichtbar ist.

II. Das continuirliche Spectrum reicht etwas über die Linie *D* hinaus und dieselbe ist als helle Linie sichtbar.

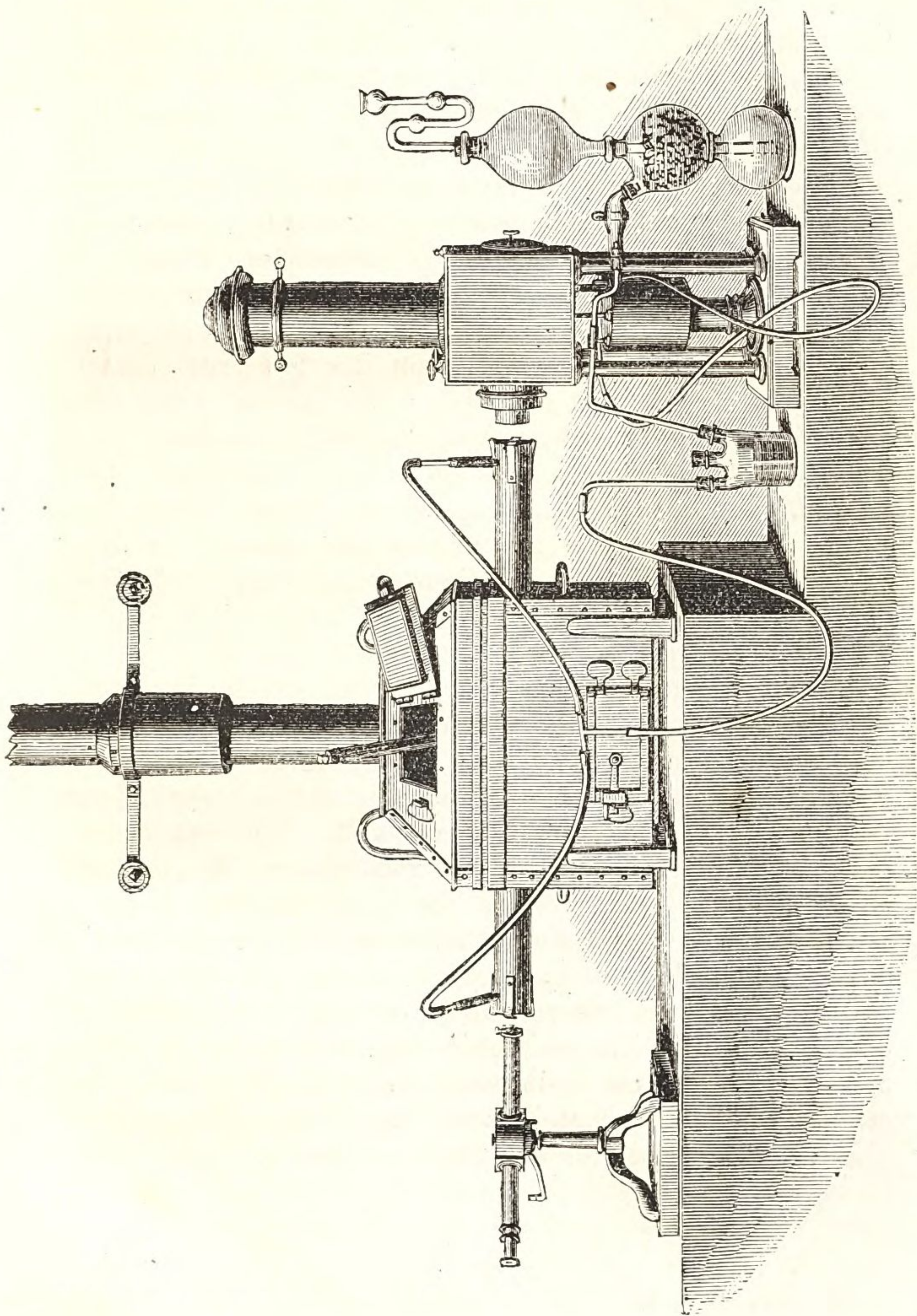


Fig. 25. Apparat zur Beobachtung der Absorptionsspectra metallischer Dämpfe.

III. Das Spectrum reicht bis an das Grün, *D* ist sehr glänzend.

IV. Das Spectrum reicht über Grün hinaus und *D* hört auf, als Linie sichtbar zu sein. Die Wände des Ofens sind rothglühend.

Sollen Metalle wie Kalium und Natrium bei diesen Untersuchungen benutzt werden, so empfiehlt es sich, dieselben in folgender Weise zu behandeln. Dieselben werden, wie Professor Dewar vorgeschlagen hat, langsam unter Paraffin geschmolzen und dann in feine Glasröhrchen gezogen. Will man das Spectrum dieser Metalle beobachten, so wird ein Stückchen eines solchen Rohrs abgebrochen. Das Glas beschützt nicht nur das Metall vor Oxydation, sondern erleichtert auch das Herabgleiten desselben in das erhitzte Rohr. Ohne eine solche Vorsichtsmaassregel würde das Metall in dem seitlichen Rohr hängen bleiben, schmelzen und verdampfen, anstatt in das Hauptrohr herabzugleiten und sich dort zu verflüchtigen.

Wenn eine noch höhere Temperatur erforderlich ist, als sie mit diesem Ofen zu erreichen ist, so bedient man sich eines andern Ofens. Das eiserne Rohr wird durch ein Kalkrohr ersetzt und die Metalle durch ein Knallgasgebläse in Dampf verwandelt. Die Flamme ist so zu reguliren, dass sie überschüssigen Wasserstoff enthält.

Nach dieser von Sainte-Claire Deville und Debray* angegebenen Methode lassen sich mit der grössten Leichtigkeit sehr hohe Temperaturen erreichen, und Stas hat dieselbe zur Destillation von Silber benutzt.** Roberts und ich gaben dem Kalk eine etwas andere Form, die es ermöglicht, den metallischen Dampf in ein zur Weissglut erhitztes Rohr einzuleiten, welches so angebracht

* Ann. de Chimie et de Physique, LVI, 413.

** Stas, Sur les lois des proportions chimiques, p. 56. (Deutsch von Aronstein, Leipzig 1867.)

ist, dass ein Strahl der elektrischen Lampe durch dasselbe hindurchdringen kann.

Die Einrichtung des zu diesen Untersuchungen benutzten Apparates zeigt Fig. 26. *A* ist der Kalkblock*, welcher längs der Achse des Rohrs *BB'* durch eine horizontale Ebene in zwei Theile getheilt ist. Dieses Rohr ist 16 Centimeter lang und hat 30 Millimeter im Durchmesser. Der Behälter *C* steht einerseits mit der Mitte des Rohrs *BB'*, andererseits mit der Oberfläche des Kalkblocks in Verbindung, wo er eine starke Platindüse von 20 Millimeter Durchmesser aufnimmt. Die Mündungen des horizontalen Rohrs *BB'* sind durch Glasplatten verschlossen, die durch eine passende Vorrichtung angedrückt werden. Durch kleinere seitliche Oeffnungen sind Röhrchen aus Pfeifenthon eingelassen, um durch dieselben einen Strom von Wasserstoff in das Rohr *BB'* und den Behälter *C* eintreten lassen zu können.

Vor dem einen Ende des Rohrs *BB'* wurde die elektrische Lampe (*F*) in Verbindung mit einer Bunsen'schen Batterie von 30 Elementen, vor dem andern das Spectroskop (*G*) aufgestellt.

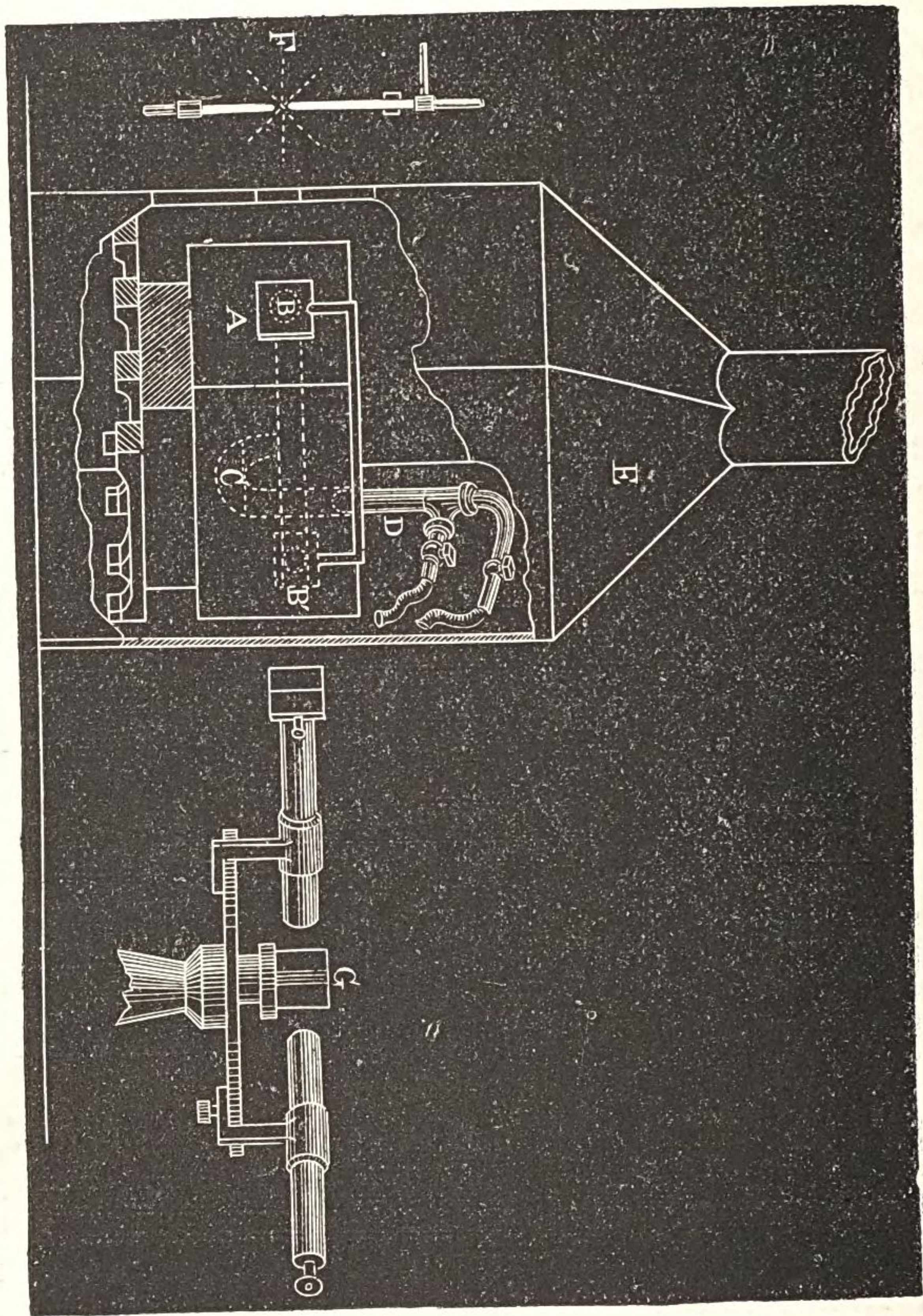
Wenn es wünschenswerth ist, die Säule des Dampfs zu verlängern, so wird ein neuer Kalkblock in der angegebenen Weise eingerichtet und in jedes Ende der Röhre ein genau passendes Eisenrohr mit einem Gemenge von Graphit und feuerfestem Thon eingekittet. Die Gesamtlänge des Rohrs kann in dieser Weise bis auf 60 Centimeter gebracht werden.

Der Kalkblock *C* mit seinen Nebentheilen wird in den Kohlenofen *E* gesetzt und bis zur hellen Rothglut erhitzt. Dann wird das Metall, dessen Dampf untersucht werden soll, in den Raum *C* gebracht, wo es mit der Knallgasflamme in Berührung kommt. Wie bereits bemerkt, muss in derselben stets überschüssiger Wasser-

* Einen für diesen Zweck geeigneten, sehr reinen Kalkstein verdanken wir dem bekannten Metallurgen Herrn John S. Sellon, in Firma Johnson & Matthey.

stoff enthalten sein. Auf diese Weise wird in den meisten Fällen das Metall sehr schnell verflüchtigt. Ausnahmen bilden Gold und Palladium. Bei unsern Ex-

Fig. 26. Apparat zur Beobachtung der Spectra metallischer Dämpfe mit Anwendung der Knallgasflamme.



perimenten wurde der innere Theil des Kalkblocks durch die Knallgasflamme bis zur Weissglut erhitzt. Da die Glasplatten sehr schnell durch die Condensation der Metaldämpfe undurchsichtig werden, so muss eine Vor-

richtung angebracht werden, durch welche dieselben leicht durch neue ersetzt werden können.

Um uns zu überzeugen, dass die Genauigkeit der Versuche nicht etwa durch die Gegenwart von Oxyden gestört werde, wandten wir die Vorsichtsmaassregel an, am Ende eines jeden Experiments eine der beiden Glasplatten zu entfernen und die Anwesenheit überschüssigen Wasserstoffs durch Entzünden desselben am offenen Ende nachzuweisen.

Wir waren jederzeit im Stande, durch Regulirung des Gasstroms das Spectrum der Knallgasflamme beobachten zu können. Ausserdem mag bemerkt werden, dass mit wenigen Ausnahmen die Metalle vor der Anwendung in einem Strom von Wasserstoff geschmolzen und bis zum Gebrauch in verschlossenen Glasröhren aufbewahrt wurden.

Was endlich die Absorption der Flüssigkeiten betrifft, so hat man sehr verschiedene Formen der Gefässe zur Aufnahme derselben, sogenannte Zellen vorgeschlagen. An dieser Stelle mag nur bemerkt werden, dass es sehr wichtig ist, genau die Zusammensetzung der Masse zu kennen, mit welcher die Gläser zusammengekittet sind und dass man für gewisse Lösungen einen ganz bestimmten Kitt verwenden muss.

Viele Absorptionerscheinungen lassen sich einem grössern Zuhörerkeise durch die elektrische Lampe vorzeigen. Man wirft zunächst ein continuirliches Spectrum auf den Schirm und stellt dann die Substanz, deren absorbirende Wirkung untersucht werden soll, zwischen den Spalt und die Linse.

Es ist von grosser Wichtigkeit, den Einfluss des Drucks und der Dichtigkeit auf die Spectralerscheinungen zu beobachten. Die folgende Methode wurde von Dr. Frankland und mir im Jahre 1869 zur Untersuchung von Natriumdampf angewendet.

Einige Stückchen reinen und von Petroleum möglichst befreiten Natriums wurden in ein sorgfältig gereinigtes und an dem einen Ende geschlossenes Glasrohr gebracht.

Das offene Ende des Rohrs wurde dann ausgezogen, mit einer Sprengel'schen Pumpe verbunden und möglichst schnell luftleer gemacht. Dann wurde das Rohr mit Wasserstoff gefüllt, wieder leergepumpt, bis der Druck auf wenige Millimeter gesunken war, und dann sorgfältig verschlossen. Dieses Rohr wurde dann zwischen den Spalt des Spectroskops und eine Lichtquelle gestellt die ein continuirliches Spectrum gab.

Im allgemeinen konnte man, wenn die Luft des Laboratoriums ruhig und staubfrei war, die beiden hellen Linien auf dem Hintergrund des hellen continuirlichen Spectrums deutlich bemerken.

Darauf wurde das Rohr mit dem Natrium durch eine Bunsen'sche Flamme erhitzt und das Spectrum genau beobachtet. Bald erschien jede der beiden hellen Natriumlinien genau in der Mitte von einer sehr feinen dunkeln Linie durchzogen. Diese dunkle Linie ward dann an der Spitze, wo das Spectrum des untern dichtern Dampfs beobachtet wurde, dicker. Dieses Breiterwerden der dunkeln Linien pflanzte sich längs der Linie *D* abwärts fort und zuletzt waren beide Linien vollkommen schwarz. Wurde jetzt durch fortgesetzte Einwirkung der Wärme die Dichtigkeit der verschiedenen Schichten des Natriumdampfs gesteigert, so wurden die beiden Linien immer breiter, bis sie schliesslich trotz der bedeutenden Dispersion zu einer einzigen zusammenflossen. Wurde jetzt die Wärmequelle entfernt, so kehrten dieselben Veränderungen in umgekehrter Reihenfolge wieder, das breitere Band spaltete sich in zwei getrennte Linien, die dunkeln Linien schrumpften immer mehr zusammen, bis sie schliesslich verschwanden und die beiden hellen Linien wieder an ihre Stelle traten.

Dies Experiment wurde dann mit folgender Abänderung wiederholt. Einige Stückchen Natrium wurden in ein Reagenzgläschen gebracht und durch ein bis auf den Boden reichendes Rohr Leuchtgas in dasselbe eingeführt, sodass dasselbe durch die Spitze entweichen

konnte. Dann wurde das Natrium erhitzt und der Gasstrom unterbrochen. In kurzer Zeit war die Umkehrung der Linie vollständig. Liess man jetzt den Gasstrom eintreten, so zogen sich die dunkeln Linien sofort zu feinen Fäden zusammen.

Um ähnliche Erscheinungen mit den sogenannten permanenten Gasen hervorzurufen, ist die Anwendung der Sprengel'schen Pumpe unentbehrlich. Mit dieser Pumpe wird der Druck in einem System von Glasröhren durch den Fall eines unterbrochenen Quecksilberstroms vermindert. Zwischen je zwei Tropfen wird ein Theil des Gases eingeschlossen und hinweggeführt.

Das sorgfältig gereinigte und erforderlichenfalls getrocknete Gas wird in den Apparat eingeführt, mit welchem eine mit Elektroden versehene Geissler'sche Röhre verbunden ist, da keine der gewöhnlichen Wärmequellen genügt, um die permanenten Gase mit Ausnahme des Wasserstoffs glühend zu machen. An diesen Röhren befindet sich in der Regel ein capillarer Theil, und auf diesen wird das Spectroskop gerichtet, da hier die Lichterscheinungen am deutlichsten sind. Im allgemeinen empfiehlt es sich, die Operationen bei hohem Druck zu beginnen. Ein sehr wichtiger Nebenapparat einer solchen Pumpe ist ein Barometer, welches uns in den Stand setzt, den Druck, bei welchem irgendeine Erscheinung beobachtet wird, zu bestimmen. Für die Beobachtung geringer Druckdifferenzen, namentlich in der Nähe des Vacuums, hat Professor M'Leod ein Manometer construirt, vermittels dessen der Druck auf Tausendstel Millimeter genau geschätzt werden kann.

DRITTES KAPITEL.

Photographie des Spectrums.

§. 1. *Niépce, Herschel und Draper.*

Im Jahre 1839 hatte Niépce die Photographie mehr vervollkommenet als irgendeiner seiner Vorgänger. Er hatte eine Reihe von Jahren in Gemeinschaft mit Daguerre gearbeitet und die Daguerrotypie war bereits ausgebildet. Die zuerst von Fox Talbot entdeckte Wirkung des Lichts auf Iodsilber wusste man durch Quecksilber zu fixiren.* In der Daguerrotypie handelte es sich nicht um die Wirkung des Lichts im gewöhnlichen Sinne, und man war eifrig bestrebt, die wahre Ursache der damals entdeckten Erscheinungen zu ermitteln. Eine Platte, die eine gewisse chemische Verbindung enthielt, wurde der Einwirkung des Lichts ausgesetzt. War es das gesammte Sonnenlicht oder nur ein bestimmter Theil desselben, der ein mehr oder weniger bleibendes Bild auf der Platte erzeugte?

Was war natürlicher, als dass man diese Frage zu entscheiden suchte, indem man die Wirkung verschieden gefärbter Gläser beobachtete? Man liess das Sonnenlicht erst durch Glasplatten von verschiedener Farbe hindurchgehen, bevor man es auf die präparirte Platte einwirken liess. Ueber die Ergebnisse dieser Unter-

* Fox Talbot, *Philosophical Magazine*, XXII, 97.

suchungen entstand eine bedeutende Meinungsverschiedenheit. Namentlich waren Claudet und Becquerel in einem Punkte, der sich aus diesen Untersuchungen ergab, sehr abweichender Ansicht.

Der Streit fand indess bald seine Erledigung, als J. Herschel im Jahre 1839 darauf aufmerksam machte, dass nicht gefärbte Gläser, sondern das Spectrum das geeignetste Mittel sei, um diese neuen Wirkungen des Lichts zu studiren. In drei Abhandlungen, die er in den Jahren 1839, 1840 und 1842 der Royal Society vorlegte, wies er darauf hin, dass der einzig richtige Weg zur Lösung dieser Frage in der Benutzung eines reinen Spectrums bestehe, in dessen verschiedenen Theilen man gleichzeitig die Erscheinungen nebeneinander hat, die man nach und nach durch Anwendung rother, gelber, grüner u. s. w. Gläser hervorrufen kann. Lassen wir nun ein solches Spectrum auf eine photographische Platte fallen und vergleichen nachher die einzelnen Theile derselben, welche der Einwirkung der verschiedenen Strahlengattungen ausgesetzt waren, so wird uns die Beschaffenheit der Platte deutlich zeigen, ob die unbekannte Kraft, welche auf die Moleküle einer bestimmten chemischen Verbindung eine Wirkung ausübt, in den rothen oder blauen Strahlen ihren Sitz hat.

Wenn J. Herschel auch der erste war, der in diesem Lande auf die Wichtigkeit dieses Gesichtspunkts hinwies, so war er doch keineswegs der einzige. Auch damals befanden sich, wie auch heute, ausgezeichnete Amerikaner unter den ersten Reihen der Forscher, unter diesen namentlich Dr. Draper, der Vater eines andern Dr. Draper, den ich wiederholt zu erwähnen Gelegenheit haben werde. Diejenigen, welche mit den ausserordentlichen Fortschritten in den Spectraluntersuchungen bekannt sind, zu denen Wollaston den Anstoss gab, indem er die runde Oeffnung durch einen Spalt ersetzte, werden überrascht sein, dass die ersten Untersuchungen in der Weise ausgeführt wurden, dass man ein convergirendes Bündel von Sonnenstrahlen, welches auf der Platte ein

achromatisches Bild der Sonne gab, durch ein Prisma treten liess. Die Unvollkommenheit dieser Beobachtungsmethode bot allerdings ein wesentliches Hinderniss, doch hat sie immerhin bemerkenswerthe Erfolge aufzuweisen. J. Herschel erkannte aus seinen in dieser Weise angestellten Beobachtungen das Vorhandensein einer neuen Art von Strahlen, einer neuen prismatischen Farbe, des sogenannten Lavendelgraus jenseit des blauen, nicht auch des rothen Endes des sichtbaren Spectrums. Draper kam durch seine Entdeckung des „latenten Lichts“ im wesentlichen zu demselben Resultat.

§. 2. *Die ersten zuverlässigen Spectra.*

In den folgenden Jahren erfuhr die Spectralphotographie eine bedeutende Vervollkommnung, und der Zustand derselben in den Jahren 1842 und 1843 bezeichnet gegen das Jahr 1839 einen ebenso bedeutenden Fortschritt, wie die Wollaston'sche Methode der Spectralbeobachtung gegen die alte Newton'sche Beobachtungsmethode. Sowol Becquerel als Draper hatten das achromatische Sonnenbild durch eine einfache Vorrichtung ersetzt, vermittels deren sie das Sonnenlicht auf die Platte fallen liessen, nachdem es durch einen Spalt und eine passende Zusammenstellung von Linsen und Prismen hindurchgegangen war. Das Ergebniss dieser verbesserten Methoden war eine geradezu erstaunliche Leistung Becquerel's, die er am 13. Juni 1842 ausführte und die meines Wissens seitdem nicht wieder ausgeführt worden ist.* Er photographirte das ganze Sonnenspectrum mit allen von Fraunhofer beobachteten und aufgezeichneten Linien, nicht das sichtbare Spectrum bis zum blauen Ende, sondern das gesammte Spectrum von den ultravioletten Strahlen, den „laten-

* Bibliothèque universelle de Genève (1842), XXXIX—XL, 341.



Fig. 27. Verkleinerte Copie von Becquerel's Photographie des gesamten Sonnenspectrums, aufgenommen 1812.

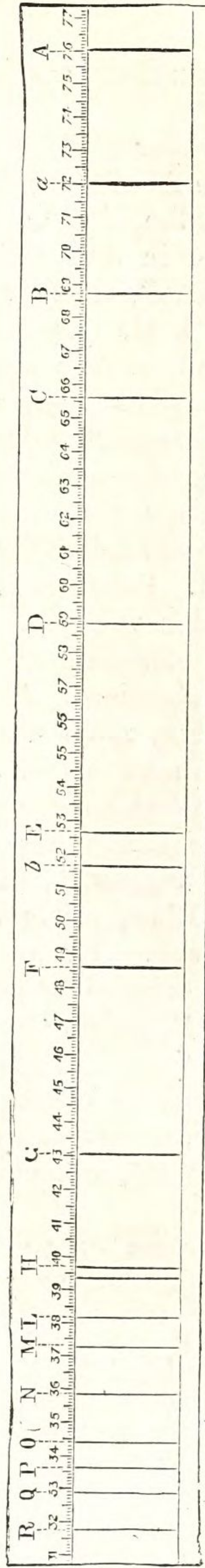


Fig. 28. Sonnenspectrum mit Angabe der von Mascart bestimmten Wellenlängen der Linien L bis R.

ten“ Strahlen Draper's bis zum äussersten rothen Ende (Fig. 27).

Auch Draper leistete in seiner sogenannten tithonographischen Abbildung des Sonnenspectrums zwar nicht genau dasselbe, doch etwas Aehnliches. Er erhielt gewisse Linien in dem äussersten sichtbaren blauen Theil des Spectrums*, welche vor ihm niemand ausser Becquerel beobachtet hatte (Draper's Werk erschien fast ein Jahr später), und in dem äussersten Roth jenseit des sichtbaren Spectrums andere Linien, die selbst Becquerel nicht photographirt hatte. Dies war in der That eine Entdeckung, die geeignet war die allgemeine Aufmerksamkeit zu erregen.

Es folgte ein lebhafter Meinungswechsel über diesen Gegenstand. Becquerel gewann durch eine genaue Vergleichung der von ihm photographirten Linien mit den von Fraunhofer aufgezeichneten die Ueberzeugung, dass das neue chemische Agens, welches die Welt in Erstaunen setzte, nicht etwas von den sichtbaren Strahlen durchaus Unabhängiges sei. Draper andererseits hatte in seiner tithonographischen Abbildung aus irgendeinem Grunde die Linien im Gelb, Orange und Grün nicht zu fixiren vermocht, während ihm die Fixirung der Linien im Blau, sowie im äussersten Violett und Roth gelungen war. Er glaubte berechtigt zu sein, aus seinen Experimenten genau die entgegengesetzte von derjenigen Folgerung zu ziehen, zu welcher Becquerel gekommen war, nämlich, dass die Art des Lichts, welches durch seine chemische Wirkung die Photographie ermöglichte, vollkommen unabhängig von dem gewöhnlichen Licht sei, welches die Netzhaut des Auges wahrnimmt.

Dies war im Jahre 1843. Bereits im Jahre 1845 hatte sich infolge weiterer Untersuchungen über das

* Philosophical Magazine (1843), XXII, 360. Seine erste Abhandlung über diesen Gegenstand befindet sich im Journal of the Franklin Institute vom Jahre 1837.

Spectrum die Ansicht Draper's als irrig erwiesen. Heutzutage stimmen alle Physiker der Ansicht bei, dass alle verschiedenen Strahlen einer Lichtquelle vom äussersten Violett bis zum äussersten Roth, sich nur durch die Anzahl und die Grösse der Schwingungen unterscheiden. Man darf behaupten, dass die Anwendung der Photographie in der Spectroskopie wesentlich zur Erkenntniss der wichtigen Thatsache beigetragen hat, dass die sichtbaren Strahlen, die chemisch wirksamen Strahlen und die Wärmestraahlen sämmtlich Theile eines und desselben Systems von Schwingungen sind, deren Zahl und Wellenlänge sich von einem Ende des Spectrums bis zum andern ändert, gleichviel ob wir den sichtbaren Theil des Spectrums berücksichtigen oder auch die unsichtbaren Strahlen jenseit des rothen und violetten Endes. Noch ein anderes wichtiges Resultat verdanken wir der Anwendung der Photographie im Dienste der Spectralwissenschaft. Gleich beim Beginn seiner Untersuchungen überzeugte sich J. Herschel, dass zu einer erfolgreichen Weiterbildung derselben Linsen erforderlich seien, durch welche die sichtbaren und die chemischen Strahlen in vollkommene Coincidenz gebracht werden. Solche Linsen werden jetzt von Rosse und Dallmeyer verfertigt.

§. 3. *Das ultraviolette Spectrum.*

Der nächste Fortschritt in diesen Untersuchungen, den wir zu verzeichnen haben, fällt in das Jahr 1852. In diesem Jahre überreichte Professor Stokes der Royal Society eine Abhandlung* über die sogenannte Fluorescenz des Lichts, deren Entdeckung er bereits angekündigt hatte. In seiner ersten Abhandlung über diesen Gegenstand handelt Stokes über die Aenderung der Brechbarkeit oder nach der Bezeichnungs-

* Philosophical Transactions (1852), Bd. CLXII.

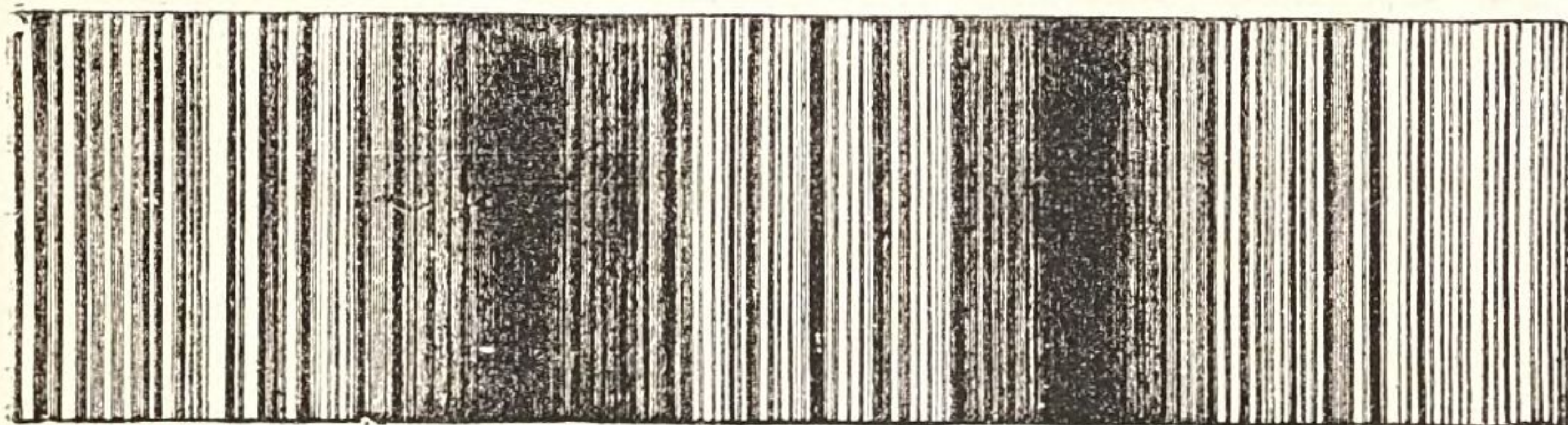
weise von Thomson der Degradation des Lichts, durch welche Lichtstrahlen, die im allgemeinen unsichtbar sind, unter gewissen Umständen sichtbar gemacht werden können. Ich habe nicht die Absicht, den Inhalt dieser wichtigen Abhandlung ausführlich darzulegen. Nur soviel will ich bemerken, dass, insofern es sich um eine Degradation des Lichts handelte, das unsichtbare Licht, welches nach Stockes sichtbar gemacht werden kann, über das blaue Ende des Spectrums und nicht über das rothe hinaus liegen muss. Um dieses unsichtbare Licht unter günstigeren Bedingungen als denjenigen zu erhalten, unter denen er seine Versuche begonnen hatte, untersuchte Stokes das Durchlassungsvermögen der Substanzen, mit denen er experimentirte, und fand, dass Glas dies unsichtbare Licht, oder was es sonst sein mochte, nur sehr schwierig durchliess.* Im weitem Verlauf seiner Untersuchungen fand er dagegen, dass dieses unsichtbare Licht sehr leicht vom Quarz durchgelassen wurde. Nach einer Besprechung dieser Experimente mit Glas und Quarz fährt er fort** : „Ich bezweifle nicht, dass sich das Sonnenspectrum (welches bereits von Becquerel und Draper über das violette Ende hinaus photographirt worden war) durch Anwendung eines optischen Apparats, in welchem alle Glastheile durch Quarz ersetzt sind, verlängern lässt, wenn ich auch nicht im Stande bin, anzugeben, bis zu welchem Grade.“ Dann bemerkt er weiter, dass andere Substanzen, die er geprüft, für diese Versuche weniger geeignet seien. Auch folge aus dem Umstand, dass dieses unsichtbare Licht den Quarz durchdringt und für das Auge sichtbar wird, durchaus nicht, dass es sich photographiren lasse. Stokes hatte nämlich bereits in seinen weitem Untersuchungen über die Fluorescenz die Photographie zu Hülfe genommen.

* Philos. Transactions (1852), Bd. CLXII, Art. 202.

** Ebenda, Art. 204.

Leider sind meines Wissens diese Photographien sämmtlich unveröffentlicht geblieben.

In einer der Royal Society überreichten Note zu dieser Abhandlung zeigt Stokes, dass seine Vermuthungen, soweit sie das Auge betrafen, von den Thatsachen vollkommen bestätigt wurden.* Ich habe seitdem einen vollständigen Apparat aus Quarz bestellt, von welchem bereits verschiedene Theile, unter anderm zwei sehr feine Prismen, von Herrn Darker angefertigt sind. Mit Hülfe dieser Prismen habe ich die Linien des Sonnenspectrums über die Linie *H* hinaus auf eine Strecke gesehen, die grösser ist als der Abstand dieser Linie

*H 2**H 1**Fig. 29.*

von der Linie *P*. Das Spectrum war also von *H*, der äussersten Linie in dem ursprünglich sichtbaren Theil aus gerechnet, mehr als doppelt so lang als der früher durch photographische Eindrücke bekannte Theil desselben. Man erkennt gewöhnlich mit blossen Auge die beiden mit *H 1* und *H 2* bezeichneten dunkeln Streifen der Fig. 29. Der weniger brechbare Theil des Spectrums liegt rechts. Wenn also Professor Stokes von einer Verlängerung des Sonnenspectrums spricht, so meint er damit, dass der dem blossen Auge sichtbare oder durch photographische Eindrücke nachweisbare Theil des Spectrums sich nach der linken Seite dieser beiden dunkeln Linien verlängert. Der von Stokes

* S. 559.

durch die Quarzprismen sichtbar gemachte Theil reichte beträchtlich über das linke Ende des in der Figur abgebildeten Stücks des Spectrums hinaus.

In einer weitem Abhandlung, die Stokes im Jahre 1862* der Royal Society überreichte, fasst er die Resultate seiner in dieser Richtung angestellten Untersuchungen kurz zusammen. „Eine Abbildung der neuen Linien“, fährt er dann fort, „wurde im Herbst desselben Jahres auf der Versammlung der British Association zu Belfast in einer Abendvorlesung vorgezeigt. Bei dieser Gelegenheit sprach ich meine Ueberzeugung dahin aus, dass wir das Ende des Sonnenspectrums in der Richtung der stärksten Brechbarkeit erreicht hätten. In der That liess sich durch dieselbe Vorrichtung, mit der sich unter Benutzung der Fluorescenzerscheinungen im Spectrum des elektrischen Funkens noch Strahlen von höherm Brechungsvermögen entdecken liessen, nichts Aehnliches im Sonnenspectrum nachweisen.“ Dann theilt er mit, dass er bei seinen Untersuchungen des elektrischen Funkenspectrums gefunden habe, dass in dem Spectrum eines Inductionsfunken oder des Flammenbogens der elektrischen Lampe der durch die Fluorescenz sichtbar gemachte Theil des Spectrums sechs bis achtmal so lang sei als der ganze übrige Theil des Spectrums. Dies war eine Entdeckung ersten Rangs. Dieselbe setzte ihn dermaassen in Erstaunen, dass er anfangs einen Irrthum annehmen zu müssen glaubte. „Ich konnte mich nicht der Vermuthung entziehen, dass ich es mit einem Fehler zu thun hätte, der durch die Reflexion des zerstreuten Lichts erzeugt werde.“ Er wandte verschiedene Mittel an, um einen etwaigen Irrthum zu vermeiden und bemerkt an einer andern Stelle seiner Abhandlung: „Ich wandte verschiedene Methoden an, ohne indess von der Genauigkeit der Beobach-

* On the long spectrum of the electric light. Phil. Trans., CLII, 599.

tungen befriedigt zu sein, und dachte wiederholt daran, wieder die Photographie zu Hülfe zu nehmen.“

§. 4. *Dr. Miller's Untersuchungen.*

Noch bevor Stokes zur Ausführung seiner beabsichtigten Anwendung der Photographie geschritten war, hatte bereits Dr. Miller vom Kings-College diesen Gedanken ausgeführt und Photographien vom sogenannten unsichtbaren Theil des Spectrums hergestellt, in denen

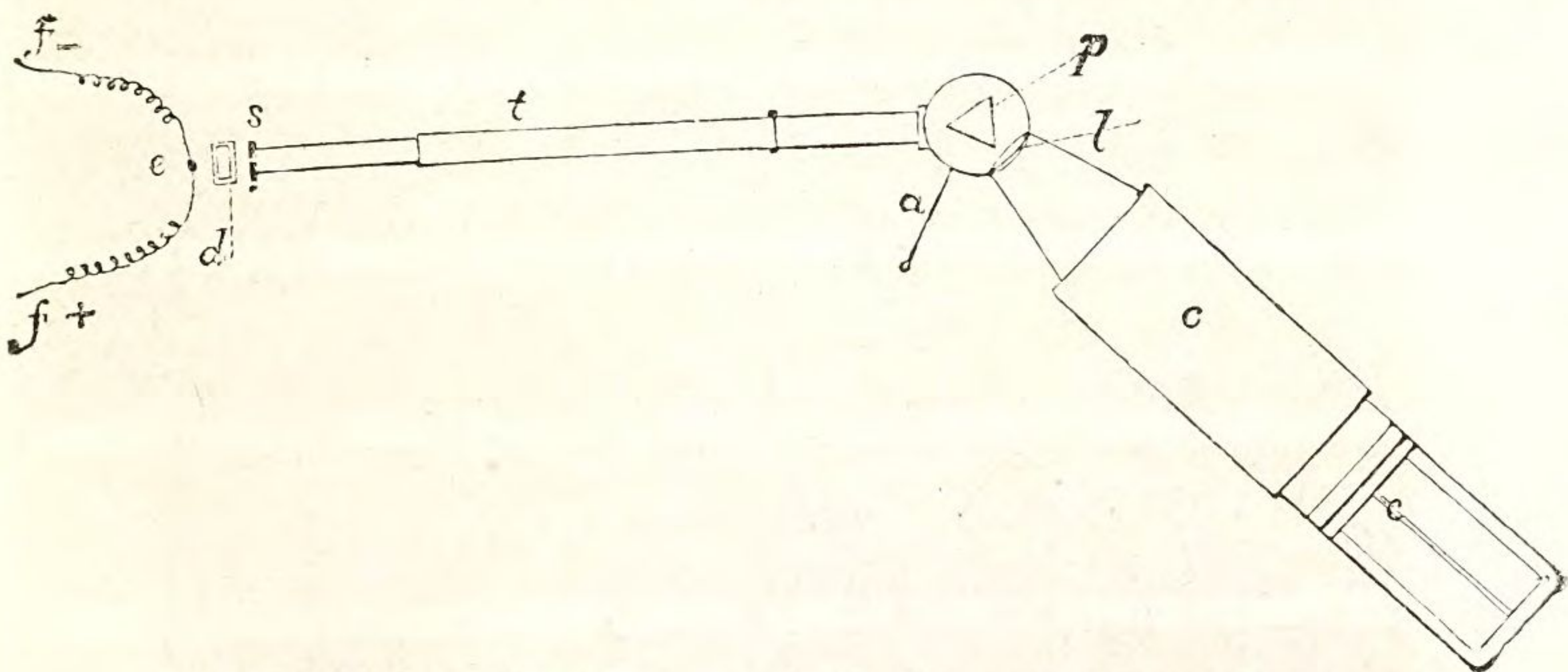


Fig. 30. Miller's Apparat zum Photographiren des Spectrums. *s* Spalt; *l* Quarzlinse; *c* Camera; *p* Quarzprisma; *t* Collimator; *e* Funken.

das Spectrum für einige Substanzen fünf- bis sechsmal, für Silber fast siebenmal so lang war als das gewöhnliche durch Glasprismen erzeugte sichtbare Spectrum. Professor Miller kam fast auf demselben Wege zu seinen Resultaten wie Stokes. Er untersuchte das Durchlassungsvermögen des Quarzes und kam so zu dem Schluss, dass dies das einzige Material sei, welches für diese Untersuchungen zu brauchen ist. Auch er* gibt zunächst eine ausführliche Beschreibung der Art und Weise, in

* A. a. O., p. 801.

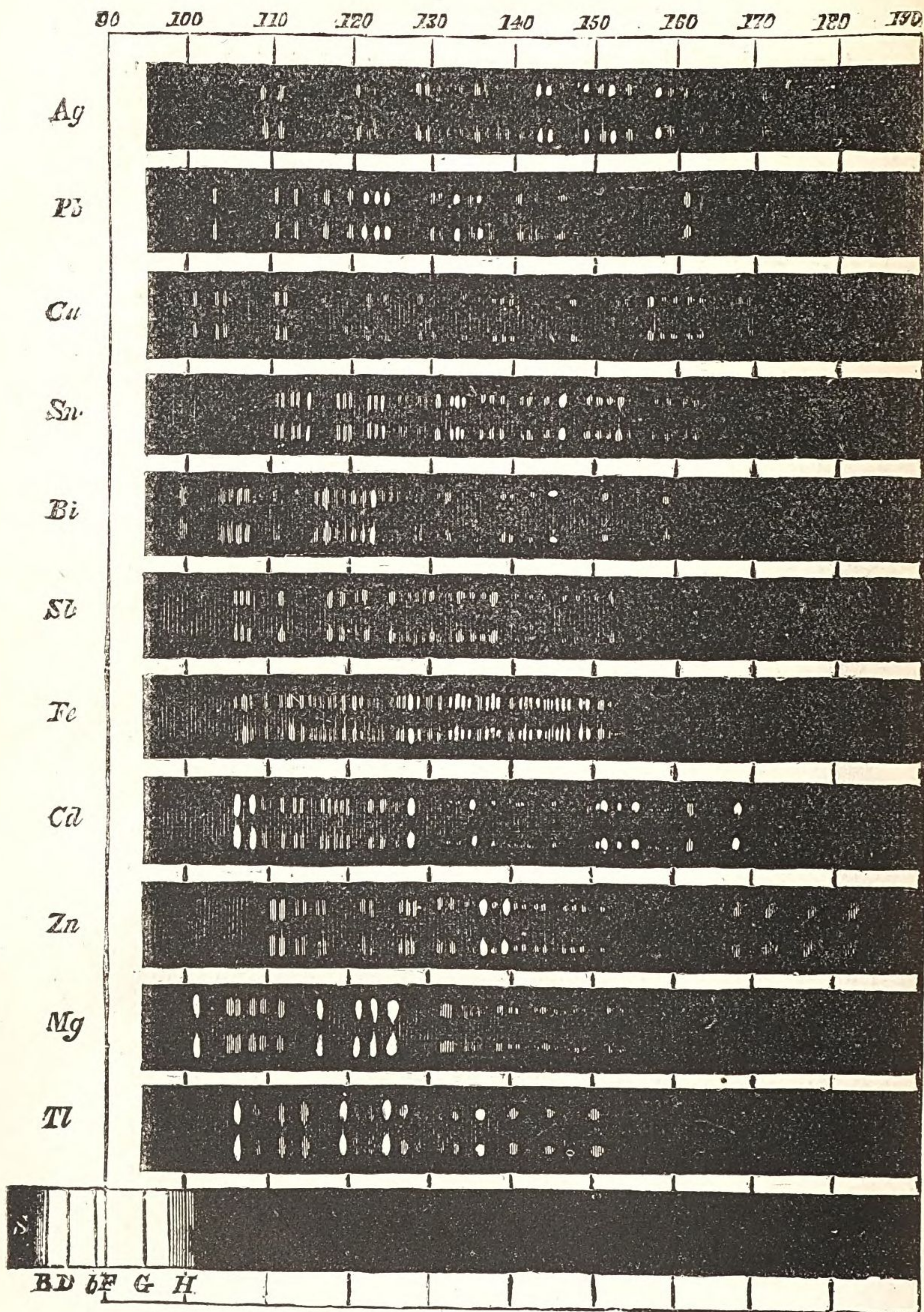


Fig. 31. Ultraviolette Spectra einiger Elemente in Luft, nach Miller.

welcher diese Untersuchungen auszuführen sind. Die Haupttheile des Apparats sind ein Funkeninductor, dessen Pole aus dem Metall bestehen, dessen Spectrum untersucht werden soll, sodann ein oder mehrere Quarzprismen, welche das Spectrum erzeugen, und eine Quarzlinse, welche dasselbe auf die photographische Platte der Camera wirft. Mit dieser Vorrichtung, in welcher die Benutzung von Glas vollkommen ausgeschlossen war, erhielt Miller Photographien eines Theils des sichtbaren Spectrums von Grün bis Blau, sowie des unsichtbaren Spectrums bis zur sechsfachen Länge des sichtbaren über das blaue Ende hinaus. In manchen Fällen allerdings betrug die Länge des unsichtbaren Spectrums jenseit der Linie *H* nur das Vierfache des sichtbaren, d. h. der Entfernung der Linie *H* von der Linie *A* im rothen Ende desselben.

Diese Arbeit Miller's bildet die Grundlage aller Spectraluntersuchungen, die man seitdem auf photographischem Wege ausgeführt hat. Leider sind dieselben nicht in einem solchen Umfange ausgeführt worden, wie es wol wünschenswerth gewesen wäre. Miller beschränkte sich nicht darauf, mit Hülfe dieser Methode die Ausstrahlung verschiedener Dämpfe zu untersuchen und die hellen Linien zahlreicher chemischer Elemente zu photographiren, sondern er zog auch die Absorptionserscheinungen vieler Substanzen in das Bereich seiner Untersuchungen.

Er untersuchte die Absorption der chemischen Strahlen bei ihrem Durchgang durch verschiedene Mittel, durch feste, natürlich durchsichtige Körper, durch Flüssigkeiten, sowie durch Gase und Dämpfe. In dem letztern Falle wurde die gewöhnliche Anordnung des Beobachtungsapparats nur in der Weise etwas abgeändert, dass der Collimator (*t* in Fig. 30) in etwas grösserer Entfernung von der Lichtquelle aufgestellt und zwischen ihm und der Lichtquelle ein Rohr eingeschaltet wurde, welches das Gas enthielt, dessen absorbirende Wirkung untersucht werden sollte. In dieser Weise wurde sowol die

Absorption verschiedener Gase bei gleicher Länge, als auch die Absorption desselben Gases für verschiedene Länge der absorbirenden Schicht untersucht. Diese Abhandlung Miller's bildet einen der wichtigsten Beiträge zur Spectralwissenschaft, die ich kenne, und zwar liegt der Hauptwerth derselben in der Anwendung der

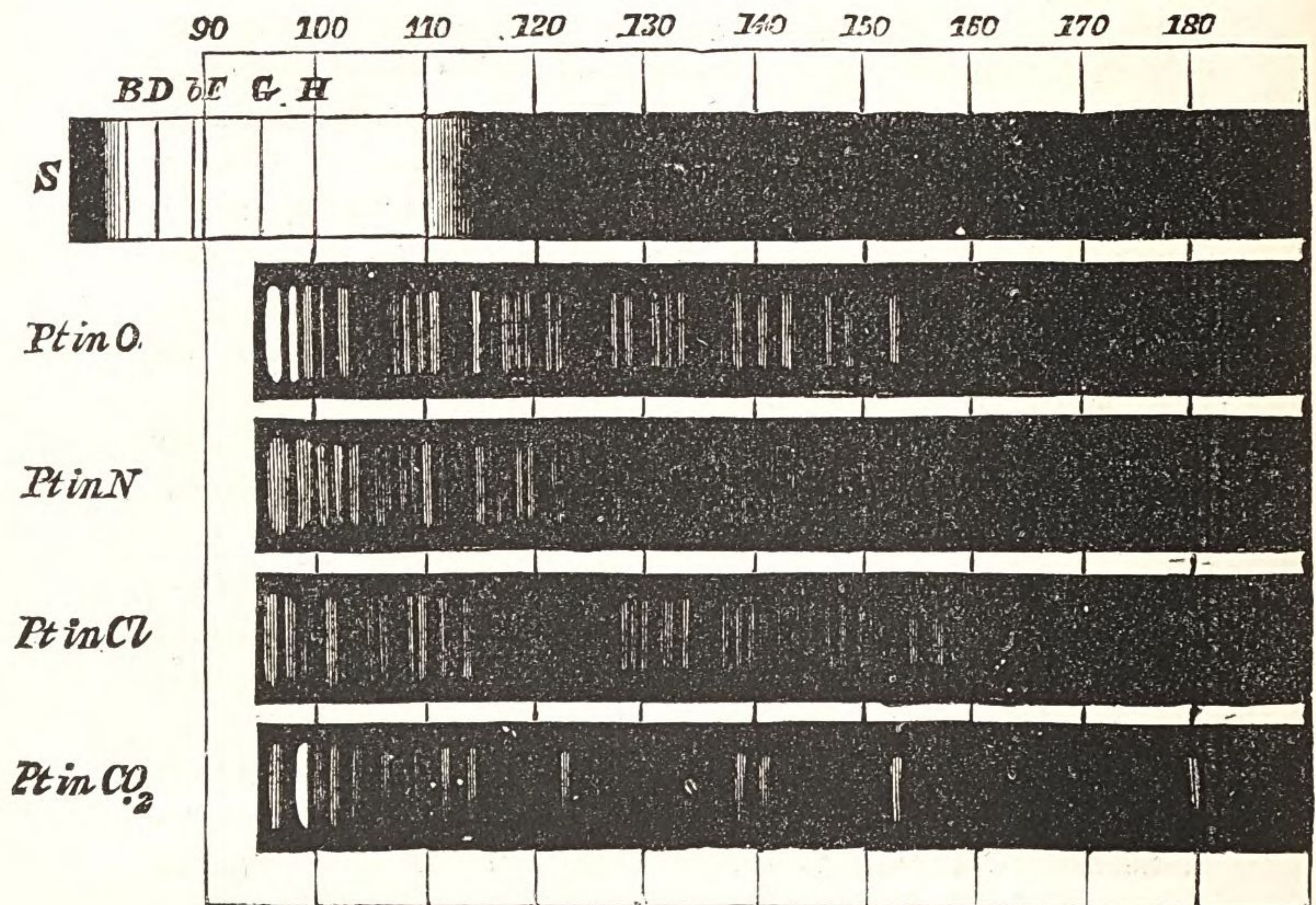


Fig. 32.* Länge des ultravioletten Spectrums von Platin in verschiedenen Gasen im Vergleich zur Länge des Sonnenspectrums, nach Miller.

Photographie zur Ausführung spectroscopischer Untersuchungen. Wenn es auch auf den ersten Augenblick scheinen könnte, als ob nichts leichter sei, als leidliche Photographien des Spectrums herzustellen, so weiss doch jeder, der sich etwas eingehender mit dem Gegenstand

* Diese Tafeln wurden mir von Herrn Longmans bereitwilligst zur Verfügung gestellt. L.

beschäftigt hat, mit welchen Schwierigkeiten derartige Untersuchungen verknüpft sind.

§. 5. *Mascart's Tafeln.*

Die Untersuchungen Miller's fallen in das Jahr 1862. Im Jahre 1863 haben wir einen nicht minder bedeutenden Fortschritt in unserm Gebiete zu verzeichnen. Mascart, ein Franzose, dessen Namen den Physikern wohlbekannt ist, unternahm ein grossartiges Werk, welches er noch nicht beendet hat, nämlich eine erschöpfende Erforschung des ultravioletten Sonnenspectrums.* Anstatt eines Quarzprismas, dessen sich vor ihm Miller bedient hatte, benutzte er ein Beugungsgitter, d. h. ein Instrument, vermittels dessen ein Spectrum nicht durch Brechung, wie bei einem Prisma, sondern dadurch erzeugt wird, dass das Licht eine Reihe nebeneinanderliegender sehr enger Spalten durchdringt, die man in der Regel in der Weise erzeugt, dass man zahlreiche, sehr feine Linien in Glas einritzet. Mascart hat nachgewiesen, dass es möglich ist, gebeugtes Licht durch Reflexion von der Oberfläche eines Beugungsgitters zu erhalten, ohne dass es durch das Glas hindurchgeht. Auf diese Weise wird der störende Einfluss des mangelhaften Durchlassungsvermögens des Glases vollständig vermieden. Mascart hat seine Untersuchungen von Jahr zu Jahr weiter ausgedehnt und hat jetzt fast ausschliesslich auf photographischem Wege eine Tafel des Sonnenspectrums hergestellt, die ungefähr bis zur Linie *T* reicht. An dieser Stelle fand Mascart das Ende des Sonnenspectrums, während das Spectrum zahlreicher Dämpfe, z. B. von Cadmium und einigen andern Metallen viel weiter reichte. Er erhielt Photographien, die sich um das Fünffache bis Sechsfache, ja

* Annales scientifiques de l'École normale supérieure (1864), p. 219.

in einzelnen Fällen fast das Siebenfache der Entfernung der Linien *A* und *H* über die letztere Linie hinaus erstreckten.

§. 6. *Rutherford's Photographie des Sonnenspectrums.*

Eine interessante Rückwirkung der Spectroskopie auf die Photographie mag hier kurz erwähnt werden. Rutherford, dessen Name in der Photographie der Himmelskörper mit demjenigen Delarues' eng verbunden ist, war mit der Wirkung der Spiegelteleskope nicht zufrieden. Er lebt in Neuyork und ich vermuthe, dass in Neuyork der störende Einfluss des Rauchs und Staubes, mit welchem die Atmosphäre verunreinigt ist, nicht geringer ist als in London. Rutherford kam schliesslich zu der Ueberzeugung, entweder die Photographie der Himmelskörper aufgeben oder eine Linse construiren zu müssen, die ihm bei einem Durchmesser von ungefähr 15 Zoll ein ebenso vollkommenes Bild lieferte wie ein Spiegelteleskop von derselben Oeffnung.

Rutherford wusste wol, dass es unmöglich sei, eine solche Linse von einem Optiker zu erhalten, der bei der Construction eines gewöhnlichen Teleskops in der Regel die violetten Strahlen vernachlässigt. Da es ihm aber gerade um diese Strahlen zu thun war, so entschloss er sich, selbst eine solche Linse zu verfertigen. Bei genauerer Prüfung der Sache gewann er die Ueberzeugung, dass zur Correction einer Linse von dieser Grösse in Beziehung auf die chemischen Strahlen ein Spectroskop vorzügliche Dienste leisten würde. Er construirte daher ein grosses Spectroskop, um mit Hülfe desselben ein grosses Teleskop zu construiren. Die Folge war, dass die Instrumente, die bereits auf Anrathen Herschel's in der Weise vervollkommnet waren, dass die chemischen und sichtbaren Strahlen vereinigt wurden, eine weitere Verbesserung erfuhren, die der Verbesserung der alten, nur die sichtbaren Strahlen berücksichtigenden Instrumente vollkommen gleichwerthig ist.

Rutherford schloss einfach die sichtbaren Strahlen aus und vereinigte nur die violetten. Es ist auf diese Weise unmöglich, durch dieses Teleskop irgendetwas zu sehen, dagegen lassen sich mit demselben die kleinsten Sterne — ich glaube bis zur zehnten Grösse — mit der grössten Schärfe photographiren. Dies Instrument hat jedenfalls in der Astronomie eine bedeutende Zukunft.

Nach Vollendung dieses Instruments und des Spectroskops begann Rutherford eine Untersuchung, deren Resultate er zu meinem grössten Bedauern nie veröffentlicht hat. Dieselben sind jedenfalls äusserst werthvoll, da die für Spectralphotographie geeignetsten Linsen und die besten Sorten von Collodium angewandt wurden. Er fand nämlich, dass das Zustandekommen guter Spectralphotographien wesentlich von der Wahl einer für diese Zwecke geeigneten Sorte Collodium abhängig ist, dessen Empfindlichkeit weder zu gross noch zu gering ist.

Rutherford's Beitrag zur photographischen Spectroskopie, seine Photographie des Sonnenspectrums von *F* bis *H* ist ein ebenso bewundernswürdiges und hervorragendes Werk wie seine Photographie des Mondes. Das Spectrum, welches er photographirte, war ein durch Brechung und zwar mit Anwendung von Glasprismen erzeugtes. Es reicht daher nur wenig über die Linie *H* hinaus. In der letzten Zeit haben diese Untersuchungen übrigens in Amerika eine wesentliche Erweiterung erfahren, indem Dr. Draper, der Sohn jenes Draper, der in der ersten Periode der photographischen Spectralbeobachtungen eine so ehrenvolle Rolle spielt, vor kurzem das Gitterspectrum der Sonne über die Linie *H* hinaus photographisch aufgenommen hat.

§. 7. *Anwendung eines zusammengesetzten Spalts.*

Es ist bereits darauf hingewiesen worden, von welcher ungeheuern Wichtigkeit die Anwendung eines Spalts an-

statt einer runden Oeffnung für diese Untersuchungen ist. Dieselbe wurde von Wollaston für die gewöhnliche Beobachtung, von Becquerel und Draper in Rücksicht auf die Spectralphotographie nachgewiesen.

Wenn wir ein Spectrum beobachten, so hängt offenbar die Breite desselben von der Länge des Spalts ab. Wenn wir gleichzeitig verschiedene Theile des Spalts durch Strahlen beleuchten könnten, die von verschiedenen Dämpfen herkommen, so könnten wir zu gleicher Zeit die Spectra verschiedener Lichtquellen beobachten. Dies lässt sich indess nur bis zu einer gewissen Grenze ausführen. Wenn wir die Photographie benutzen, so können wir verschiedene Theile des Spalts nacheinander beleuchten, sodass an verschiedenen Theilen der photographischen Platte die einzelnen Spectra nebeneinander aufgezeichnet werden.

Wir können einen langen Spalt wählen und denselben in beliebig viele Theile theilen. Wir haben zu diesem Zwecke weiter nichts zu thun, als eine Platte mit einer viereckigen Oeffnung den Spalt entlang gleiten zu lassen und jedesmal, wenn die Oeffnung ein Stück weitergerückt ist, Licht von einer neuen Quelle durch den offenen Theil des Spalts eintreten zu lassen.

Dies wurde in folgender Weise praktisch ausgeführt. Der Spalt des Spectroskops wird durch eine verschiebbare Messingplatte von 71 Millimeter Länge und 35 Millimeter Breite bedeckt, in welcher eine Oeffnung von 4 Millimeter Höhe eingeschnitten ist, die einen dieser Höhe entsprechenden Theil des Spalts unbedeckt lässt. An der beweglichen Platte befindet sich ein kleiner Stift und auf der Spaltplatte eine Reihe flacher Einschnitte, sodass die Bewegung der erstern Platte jedesmal gehemmt wird, wenn der Stift in eine Vertiefung fällt. Der Abstand zweier Einschnitte entspricht genau der Höhe der Oeffnung in der verschiebbaren Platte, sodass dieselbe jedesmal um die Höhe des freien Theils des Spalts fortgeschoben wird und daher die zu vergleichenden Spectra unmittelbar nebeneinander zu liegen

PL III.

VA.

Ti.

kommen. Der obere Rand eines Spectrums berührt den untern Rand des folgenden, sodass sich mit der grössten Leichtigkeit und Sicherheit entscheiden lässt, ob zwei bestimmte Linien beider Spectra zusammenfallen oder nicht. (Siehe Tafel III.)

Fig. 33 zeigt eine andere Einrichtung, bei welcher durch Bewegung äusserer Schieber die einzelnen Theile des Spalts nach Belieben bedeckt und freigelegt werden können.

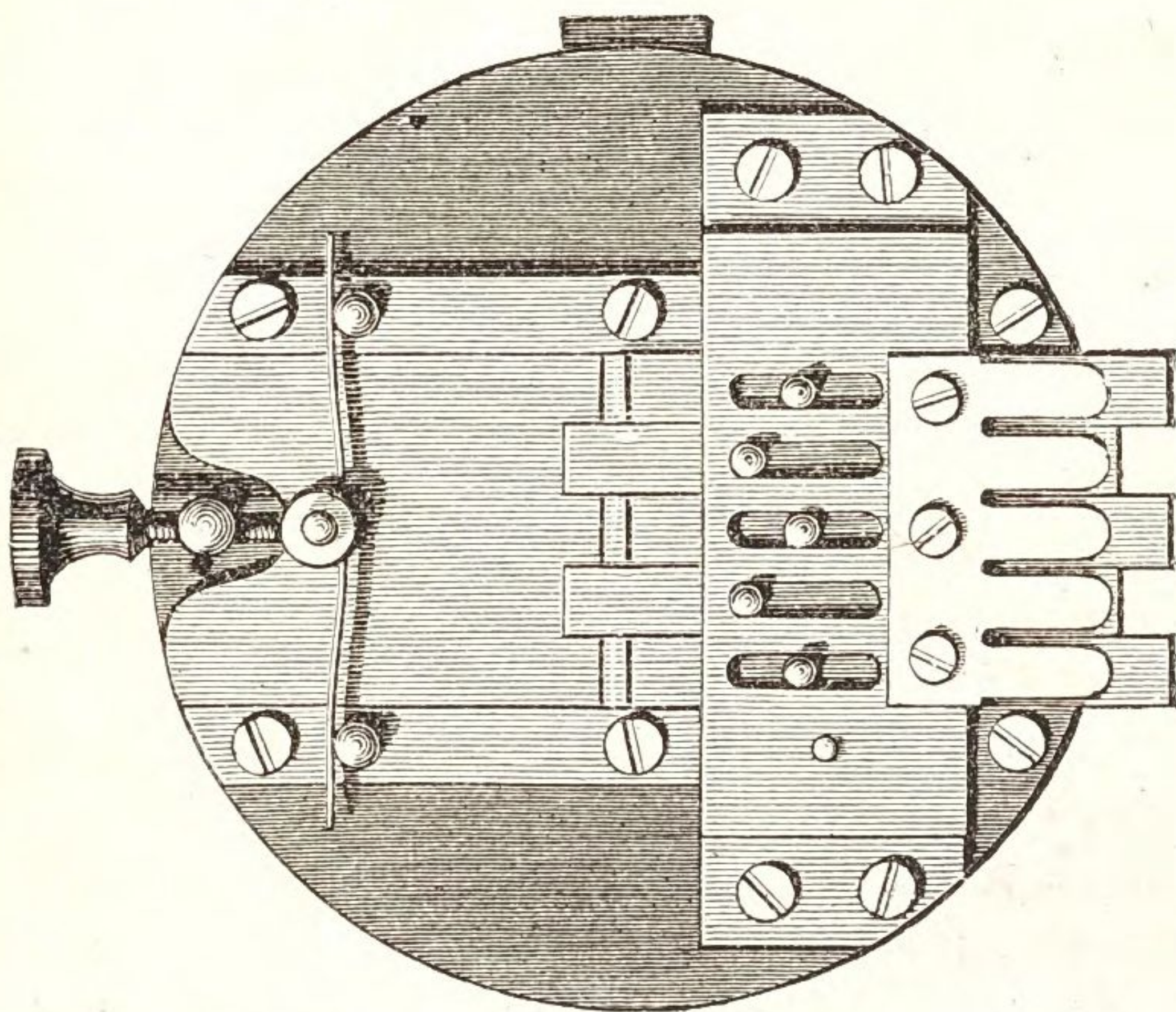


Fig. 33. Spalt zur Aufnahme von fünf Photographien auf derselben Platte. Zwei Theile des Spalts sind bedeckt.

Oeffnet man den Spalt in seiner ganzen Länge, so erhält man ein Spectrum, dessen Breite der Länge des Spalts entspricht. Lässt man dagegen das Licht nur durch einen Theil des Spalts eintreten, so erhält man auf einer bestimmten Stelle der Platte ein Spectrum des Metalls, welches man gerade vermittle des elektrischen Funkens verflüchtigt. Wenn man dann diesen Theil des Spalts verschliesst und den folgenden öffnet, so erhält man auf der photographischen Platte neben dem

ersten Spectrum ein zweites, welches die Linien desjenigen Metalls zeigt, dessen Dampf jetzt im elektrischen Licht enthalten ist. In dieser Weise kann man in der kurzen Zeit von 8—9 Minuten auf einer Platte mit der grössten Sicherheit und Genauigkeit Hunderte von Linien fixiren. Da nun ein geschickter Beobachter bei der angestrengtesten Thätigkeit höchstens zehn Linien in einer Stunde aufzuzeichnen im Stande ist, so leuchtet ein, welchen ungeheuern Vorzug die photographische Methode vor der Methode der directen Beobachtung hat.

§. 8. *Verfahren des Verfassers.*

Das Spectroskop, dessen ich mich bediene, enthält drei Prismen mit Winkeln von 45° und eins mit einem Winkel von 60° . Das Beobachtungsfernrohr ist durch eine Camera mit einer Quarzlinse von 2 Zoll Durchmesser und ungefähr 5 Fuss Brennweite ersetzt. Durch diese Einrichtung erhält man auf der photographischen Platte ein hinreichend scharfes Bild des Spectrums zwischen den Wellenlängen 3900 und 4500. Die durch den Spiegel eines Heliostaten auf die Spaltplatte reflectirten Sonnenstrahlen werden in dem Brennpunkt einer biconvexen Linse vereinigt, der genau zwischen den Kohlenspitzen der elektrischen Lampe liegt, während eine zweite, zwischen der Lampe und dem Collimatorrohr aufgestellte Convexlinse dazu dient, ein Bild der Sonne oder des elektrischen Flammenbogens auf den Spalt zu werfen. Angenommen nun, man wollte z. B. das Eisenspectrum mit dem Sonnenspectrum vergleichen, so lässt man zunächst das Spectrum eines auf den Spalt geworfenen scharfen Sonnenbildchens auf die präparirte Platte fallen. Dann wird das Sonnenlicht abgehalten und die bewegliche Spaltplatte so weit aufwärts oder abwärts verschoben, dass der Stift in die folgende Vertiefung eingreift. Auf die

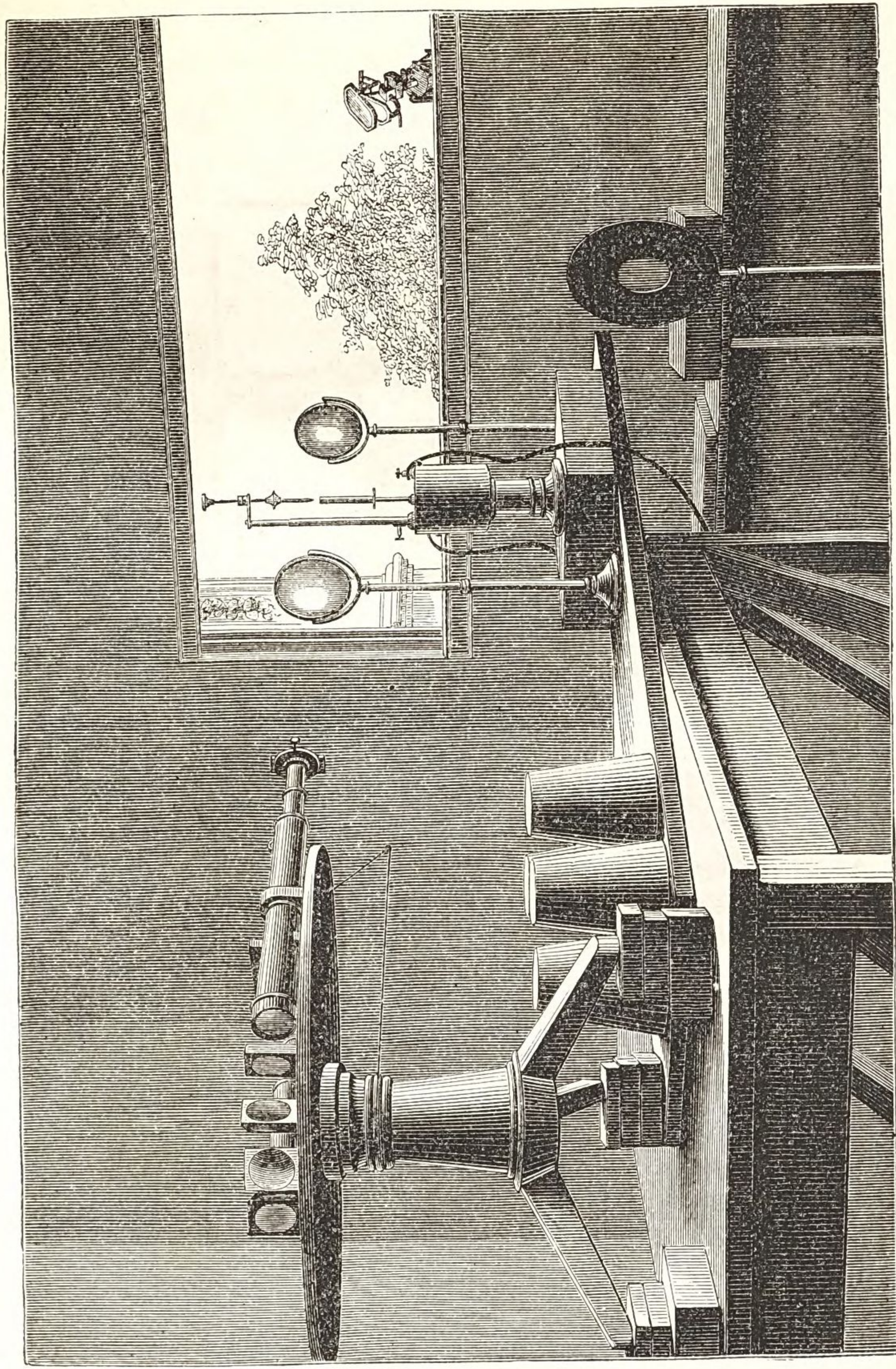


Fig. 34. Ansicht des Apparats zum Photographiren des Spectrums; Spectroskop, Heliostat, Linsen und elektrische Lampe.

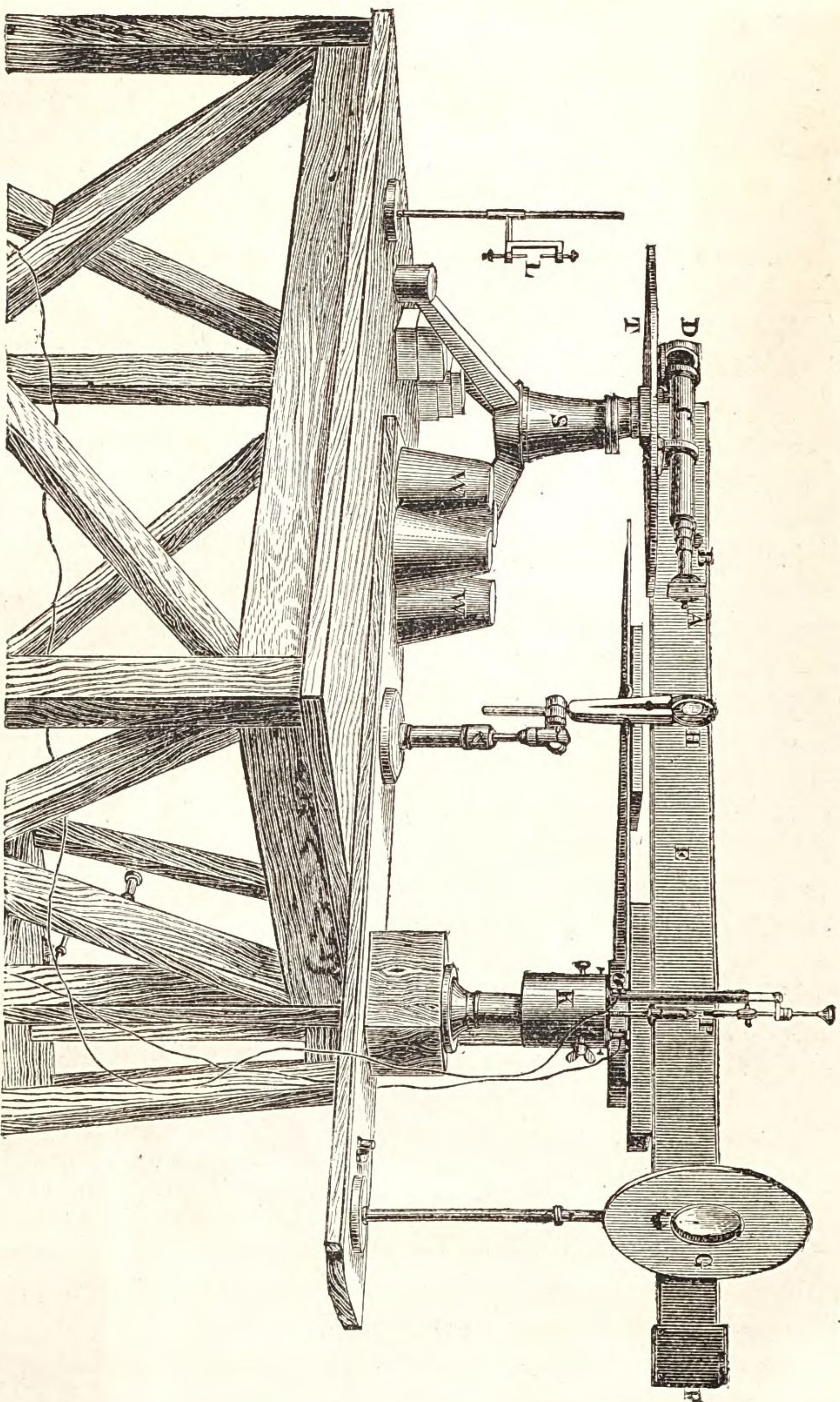


Fig. 35. Andere Ansicht des Apparats zum Photographiren des Spectrums, mit der Camera.

Stelle der photographischen Platte, welche jetzt von den Lichtstrahlen getroffen wird, lässt man das Spectrum des elektrischen Lichtbogens fallen, in welchem Eisen in Dampfform enthalten ist. Zu diesem Zweck gibt man dem untern Kohlenpol die Form eines kleinen Tiegelchens, welches zur Aufnahme von etwas metallischem Eisen dient.

Zum genauern Verständniss dieses Verfahrens will ich noch die folgenden Einzelheiten anführen. Das Laboratorium, welches zur Ausführung dieser Arbeit diente, hat zwei Fenster, von denen das eine ziemlich genau nach Süden, das andere ziemlich genau nach Westen liegt. Vor jedem der beiden Fenster ist eine horizontale Steinplatte zum Aufstellen des Heliostaten angebracht. Das Spectroskop ist auf einem Tische so aufgestellt, dass ein vom Heliostaten herkommender horizontaler Sonnenstrahl mit der Achse des Collimators zusammenfällt. Ausser der zwischen der elektrischen Lampe und dem Spalt aufgestellten Linse, die ein Bild des Lichtbogens auf den letztern wirft, ist noch eine zweite Linse zwischen dem Heliostaten und der Lampe aufgestellt, sodass der Heliostat, die Linsen, die elektrische Lampe und das Collimatorrohr des Spectrums genau in einer geraden Linie stehen. Der Zweck der zweiten Linse ist, die Sonnenstrahlen genau zwischen den Polen der elektrischen Lampe zu vereinigen. Wird dann die Linse der Camera so eingestellt, dass ein scharfes Spectrum des elektrischen Lichts auf der Platte entsteht, so wird auch das Sonnenspectrum, wenn man dasselbe nachher auf die Platte fallen lässt, vollkommen scharf sein.

Auf diese Weise erhalten wir sowol die langen und kurzen Linien mit ihren besondern Eigenthümlichkeiten, als auch des Sonnenspectrums als Scala zum Bestimmen der einzelnen Linien.

Die Figuren 36—38 zeigen die für die verschiedenen Zwecke benutzten Anordnungen.

Um möglichst gute Photographien des Sonnenspectrums

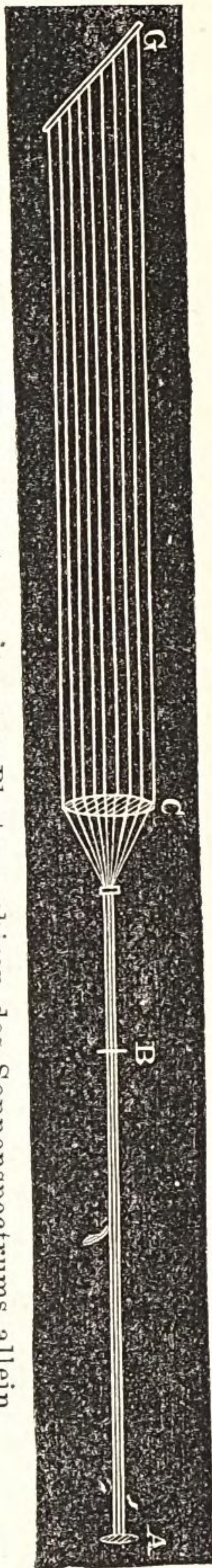


Fig. 36. Anordnung des Apparats zum Photographiren des Sonnenspectrums allein.

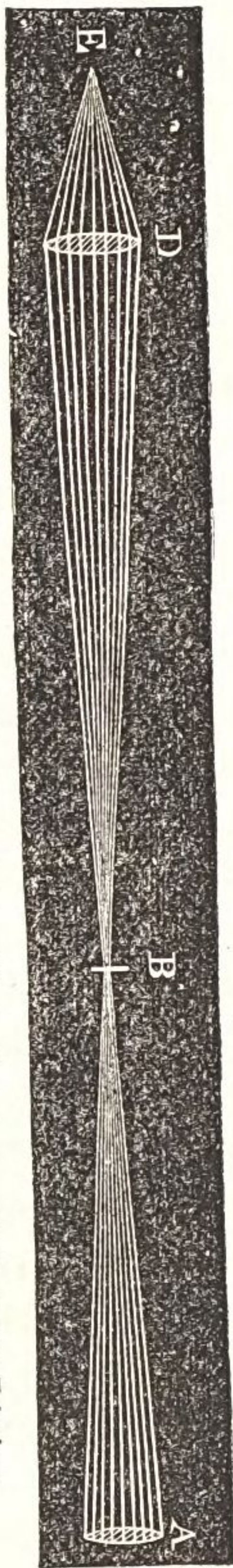


Fig. 37. Anordnung des Apparats zum Photographiren langer und kurzer Linien.



Fig. 38. Anordnung zum gleichzeitigen Photographiren des Sonnenspectrums und eines Metallspectrums.
A Collimatorlinse; *B* Spalt; *C* Linse, welche die convergirenden Strahlen parallel macht; *G* Heliostat; *D* Linse;
E Pole der elektrischen Lampe; *F* Linse, durch welche die Sonnenstrahlen zwischen den Polen vereinigt werden.

zu erhalten, ist es erforderlich, den auf das Prisma fallenden Lichtstrahl auf einen sehr geringen Durchmesser einzuschränken, ein Verfahren, durch welches Rutherford so ausgezeichnete Resultate erreichte.

Bei den Versuchen, die langen und die kurzen Linien der Metallspectra zu photographiren, stellte es sich heraus, dass dies nicht gut mit der elektrischen Lampe in ihrer gewöhnlichen Stellung auszuführen ist, da der mittlere dichtere Theil des Dampfs sich in der Regel durch den ganzen Bogen von einem Pol zum andern ausdehnte und nur kurze Linien gab.

Daher wurde der Flammenbogen in horizontaler Stellung benutzt, die einfach dadurch hervorgebracht wurde, dass die elektrische Lampe auf die Seite gelegt und so befestigt wurde. Das Bild des horizontalen Flammenbogens wurde dann in der im zweiten Kapitel angegebenen Weise auf den senkrechten Spalt geworfen. Der mittlere Theil des Spectrums, welches dem Kern des Flammenbogens angehört, besteht aus allen Linien, welche dieser Theil allein erzeugen kann, während die durch die äussern, weniger dichten Dampfschichten erzeugten längern Linien über das Spectrum des mittlern Theils mehr oder weniger hinausreichen, je nachdem sich der erzeugende Dampf mehr oder weniger von dem Kern entfernt.

Die so photographirten Linien sind nach dem einen Ende hin zugespitzt und verschwinden je nach ihrer Länge in verschiedenem Abstand von der Mitte. Es ist daher eine doppelte, äusserst symmetrische Bestimmung ihrer Länge ermöglicht.

Während wir so sehr bequem die Länge, Breite und Stärke der Linien auf dem photographischen Bilde erhalten, fehlt uns noch eine Scala, die uns in den Stand setzt, die Lage der Linien genau zu bestimmen. Dieselbe wird indess sehr bequem in der Weise gewonnen, dass man auf jeder Platte unmittelbar über oder unter das Metallspectrum das Sonnenspectrum photographirt.

Diese neue Methode hat mich in den Stand gesetzt,

auf jeder Platte vier verschiedene Spectra zu fixiren. Jeder, der mit der Praxis der Photographie bekannt ist, wird es begreiflich finden, dass diese Zahl nicht grösser ist.

§. 9. *Ergebnisse dieses Verfahrens.*

Auf diese Weise ist durch die Photographie eine genaue Vergleichung der Linien eines Metallspectrums mit den Linien des Sonnenspectrums ermöglicht. Der Leser wird sich mit Hülfe der Tafel IV eine Vorstellung von diesen Photographien machen können. Bei den meisten breiten Linien ist zu bemerken, dass mit der Linie des Metalls eine Linie des Sonnenspectrums zusammenfällt. An einigen Stellen haben die Metalllinien verschiedene Länge. Der Grund dieser Erscheinung liegt darin, dass darauf Rücksicht genommen worden ist, die Linien zu photographiren, welche verschiedenen Schichten des Dampfs angehören, von dem dichtesten Dampf des Kerns bis zu den dünnsten Dampfschichten in den äussersten Theilen des Flammenbogens. Man erhält eine sehr schöne Reihe von Photographien, wenn man von dem Rande desselben nach dem mittlern Theile desselben fortschreitet. Der innere Theil repräsentirt das vollständige Spectrum des Kerns, der äussere das unvollständige und fast einfarbige Spectrum des Dampfs, welcher den dichtern Kern einhüllt. So lässt sich das Spectrum des Metalls bis auf eine einzige Linie zurückführen.

§. 10. *Das Sonnenspectrum.*

Wir wollen jetzt die Anwendung der Spectralphotographie nicht mehr im Hinblick auf das Sonnenspectrum an und für sich, sondern in Rücksicht auf die Physik der Sonne betrachten. Was ist das Sonnenspectrum?

PL. IV
O & Co.

FE. & Co.

Es ist das continuirliche Spectrum der Sonne mit gewissen Lücken, in denen das Licht des continuirlichen Spectrums absorbirt worden ist. Wo findet nun diese Absorption statt? In einer Schicht von Dämpfen und Gasen, die eine Zone der Sonnenatmosphäre von verhältnissmässig sehr geringer Dicke bildet und die unmittelbar über dem leuchtenden Sonnenkörper, der sogenannten Photosphäre liegt. Man bezeichnet diese Zone mit dem Namen der absorbirenden Schicht. Wenn aber die Beschaffenheit des Sonnenspectrums wesentlich durch die in dieser Schicht stattfindende Absorption bedingt wird, was muss der Fall sein, wenn die Zusammensetzung dieser Schicht veränderlich ist? Dann muss offenbar auch das Sonnenspectrum selbst veränderlich sein. Nehmen wir nun an, die Menge eines bestimmten Dampfs in der absorbirenden Schicht werde geringer, so wird offenbar auch die absorbirende Wirkung dieses bestimmten Dampfs geringer werden. Welchen Einfluss wird diese Veränderung auf die Photographie des Sonnenspectrums ausüben? Es werden, wie aus später genauer auszuführenden Untersuchungen hervorgeht, einige Linien verschwinden. Nehmen wir weiter an, die Menge jenes Dampfs werde nicht geringer, sondern im Gegentheil grösser. Was wird die Folge sein? Dieselben Untersuchungen belehren uns, dass eine Vermehrung der Menge auch eine Vermehrung der Absorption bewirkt, was sich durch eine Zunahme der Zahl und der Breite der Linien geltend macht. Wenn also wirklich eine derartige Veränderung stattfindet, welchen Einfluss wird dieselbe auf das Sonnenspectrum ausüben? Offenbar werden in diesem Falle die zu verschiedenen Zeiten aufgenommenen Photographien von demselben Theil des Sonnenspectrums voneinander abweichen. In welchen Perioden sich solche bemerkbare Veränderungen vollziehen, ob in einem viertel oder in einem halben Jahr, ob in sechs, in elf Jahren oder in einem Vielfachen von elf Jahren, das wissen wir bis jetzt noch nicht. Hätten wir indess eine Reihe von

Photographien des Sonnenspectrums, die im Laufe eines längern Zeitraums regelmässig aufgenommen wären, so würden wir vermuthlich Veränderungen im Sonnenspectrum wahrnehmen. Ohne Benutzung der Photographie würde natürlich eine solche Veränderung nicht nachzuweisen sein. Denn die Anwesenheit eines besondern Metalls oder eine Schwankung der Menge eines solchen macht sich vielleicht durch das Auftreten oder Verschwinden einer einzigen unter den etwa 10,000 Linien bemerklich, und wie leicht würde sich eine solche Erscheinung der Beobachtung entziehen! Haben wir dagegen eine Reihe von Erscheinungen vermittels der Camera auf „der nie vergessenden Netzhaut“, wie Delarue die photographische Platte passend genannt hat, aufgezeichnet, so wird uns eine sorgfältige Prüfung dieser Photographien in den Stand setzen, das etwaige Verschwinden oder Auftreten einer Linie zu bemerken. Mit einer einzigen Linie wäre aber eine Veränderung der Menge eines bestimmten Dampfs in der Sonnenatmosphäre nachgewiesen.

Ich habe bereits eine Zeichnung des in der nähern Umgebung der Doppellinie *H* liegenden Theils des Sonnenspectrums gegeben. Ich möchte die Aufmerksamkeit des Lesers auf eine Linie dieser Region lenken. Wir besitzen eine vorzügliche Zeichnung des Sonnenspectrums aus dem Jahre 1860. Ein Zeichner wird nicht leicht eine Linie übersehen, die stärker ist als andere, die er in die Zeichnung aufnimmt, wol aber eine solche, die schwächer ist als jene. Nun fehlt in der That in jener Zeichnung, die ein wahres Muster von Genauigkeit in der Beobachtung und Geschicklichkeit in der Ausführung ist, an der erwähnten Stelle eine Linie, die jetzt dunkler ist als viele von denen, die in die Zeichnung aufgenommen sind. Die Linie beweist aber die Anwesenheit eines besondern Metalls in der Sonne, des Strontiums.

Ich erwähne diese Thatsache nicht etwa deshalb, weil ich vermuthete, dass die Zeichnung fehlerhaft sei,

sondern weil wir nach dem heutigen Stand unserer Kenntniss der Sonne berechtigt sind, es für sehr wahrscheinlich zu halten, dass zur Zeit, als die Zeichnung angefertigt wurde, Strontium in geringerer Menge in der absorbirenden Schicht anwesend war als heute. Jedenfalls zeigt uns dieser Fall, wie wichtig es ist, dass die Photographien mit ältern Aufnahmen, die fünf, zehn, funfzehn, hundert oder zweihundert Jahre früher angefertigt worden sind, verglichen werden. Diese jahrhundertlang fortgesetzte Beobachtung des Sonnenspectrums macht die Photographie nicht nur zu einem wichtigen Hilfsmittel, sondern geradezu zu einem wesentlichen Bestandtheil der Spectroskopie. Die Spectroskopie hat in ihrer Anwendung auf die Beschaffenheit der Himmelskörper einen solchen Grad der Ausbildung erreicht, dass die Fixirung der Beobachtung mit Hülfe der Photographie ganz unentbehrlich ist. Ohne dieselbe würden die Beobachtungen fast werthlos sein.

§. 11. *Photographie der Sternspectra.*

Draper und Huggins ist es gelungen, auch die Spectra von einigen Sternen zu photographiren. Dies ist von der grössten Wichtigkeit, denn die Sonne ist nichts anderes als ein Fixstern, und die Sterne sind nichts anderes als entfernte Sonnen. Solange wir uns in unsern, wenn auch noch so eingehenden Untersuchungen nur auf unsere Sonne beschränken und alle übrigen unberücksichtigt lassen, befinden wir uns in einem ähnlichen Falle wie derjenige, der sich in dem Studium der Literatur eines Volks auf ein einziges Werk beschränken wollte, welches vielleicht nicht einmal ein besonders guter Repräsentant dieser Literatur ist.

Für das Spectroskop bildet die Natur in ihrer Gesammtheit ein einheitliches Ganzes, und es ist unmöglich, eine einzige Beobachtung, sei es über die Sonne, einen Stern oder einen Kometen anzustellen, ohne auf

chemische und physikalische Betrachtungen eingehen zu müssen. Es ist zu bedauern, wenn die Chemiker das Spectroskop zur Untersuchung irdischer Stoffe benutzen — es ist noch nicht viel in dieser Hinsicht geschehen —, ohne die Sonne und alle die verschiedenen Sterne zu berücksichtigen, da die Anwendbarkeit des Spectroskops nicht durch den Raum beschränkt wird und wir durch dasselbe belehrt werden, dass die Elemente, oder wenigstens ein grosser Theil der Elemente, die uns auf der Erde wohlbekannt sind, in den entferntesten Sternen vorhanden sind, und zwar unter Bedingungen, die auf der Erde vollkommen unmöglich sind.

§. 12. *Die Aufgabe der Zukunft.*

Mit Hülfe der photographischen Aufnahme der Spectra werden wir eines Tags sozusagen eine neue Chemie erhalten, die uns wichtige Aufschlüsse über das Verhalten der Moleküle geben wird. Man bedenke, dass der Unterschied zwischen dem Eisenspectrum, welches aus einer einzigen Linie, und demjenigen, welches aus 400—500 Linien besteht, durch nichts anderes bedingt wird, als durch die Verschiedenheit in der Schwingung der Moleküle oder Atome des Eisens in dem Kern oder den äussern Theilen des elektrischen Flammenbogens. Alle, welche sich mit der Spectroskopie beschäftigen, werden die folgende Frage an die Photographen richten. Warum sollen wir uns bei unsern photographischen Aufnahmen des Spectrums länger nur auf das Ende der am stärksten brechbaren Strahlen beschränken, da eine der ersten Photographien, die vom Sonnenspectrum genommen wurden, nicht nur die blauen und grünen, sondern auch die übrigen Strahlen bis zum äussersten Roth umfasste? Wenn die Photographen die Wirkung des Lichts auf die Moleküle studiren und den auf dem Gebiete der Spectroskopie thätigen Forschern ein Mittel an die Hand geben würden, die photographische Fixirung des Spectrums nicht nur auf die grünen Strahlen,

bei denen sich schon Schwierigkeiten bieten, sondern bis an das äusserste rothe Ende auszudehnen, so würde der Gebrauch des Auges in diesen Beobachtungen immer mehr entbehrlich werden. Obgleich niemand den Gebrauch des Auges in diesen Untersuchungen höher schätzt als ich selbst, so bin ich doch überzeugt, dass es für die Weiterentwicklung der Wissenschaft nur von Nutzen sein wird, wenn die Beobachtung mit dem Auge durch jene von der Natur selbst bewirkte Aufzeichnung der Erscheinungen ersetzt wird.

Ich bin überzeugt, dass das Spectroskop im Stande ist, in diesem Gebiet den Weg für neue Entdeckungen zu bahnen. Es hat bereits dazu geführt, den Unterschied, den man früher zwischen den chemischen und den sichtbaren Strahlen machte, fallen zu lassen. Die Curven, durch welche man die Maxima der Wärme, der Helligkeit und der chemischen Wirksamkeit in den Lehrbüchern bezeichnet findet, bezeichnen nach meiner Ansicht nichts anderes als gewissermaassen die Absorptionsspectra derjenigen Substanzen, durch welche die Maxima bestimmt wurden — sei es Lampenruss, die Netzhaut des Auges oder ein Silbersalz — und die von der Natur des Lichts ganz unabhängig sind. Die gewöhnlich angewandten Silbersalze erfordern kurze Lichtwellen, um zuerst in Schwingung versetzt und dann infolge dieser Schwingung zerlegt zu werden. Warum sollten nicht andere Salze unter dem Einfluss der rothen Lichtstrahlen in Schwingung gerathen? Was auch die Ursache sein mag, die ein Molekül befähigt, mit einer Wellenlänge mehr zu schwingen als mit einer andern, soviel ist sicher, dass für ein und dieselbe Substanz diejenigen, welche das Roth absorbiren, weniger einfach sind als diejenigen, welche das Blau absorbiren. Ueber das Verhältniss, in welchem verschiedene Substanzen in dieser Hinsicht zueinander stehen, ist einstweilen noch wenig bekannt und es bedarf noch umfangreicher Untersuchungen, um über diesen Punkt etwas Bestimmtes angeben zu können.

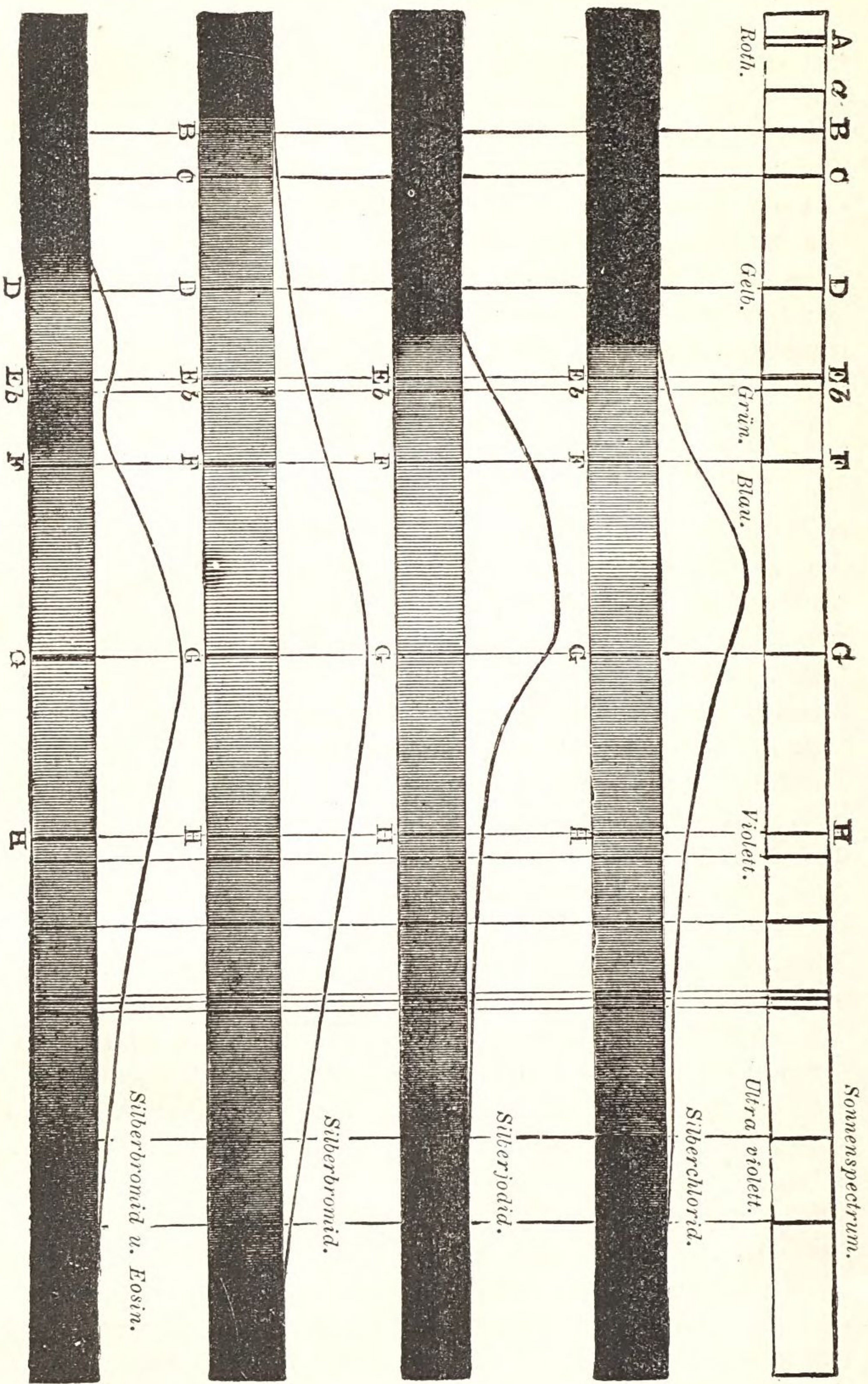


Fig. 39. Die chemische Wirkung des Lichts auf Silbersalze.

In dieser Richtung hat unter andern Kapitän Abney umfangreiche und erfolgreiche Untersuchungen angestellt. Er hat bereits Photographien vom rothen Ende des Sonnenspectrums erhalten, welche die Fraunhofer'schen Linien sehr deutlich zeigen. Ebenso hat er das rothe Ende des Calciumspectrums photographirt, doch sind, soviel ich weiss, seine Untersuchungen noch nicht vollständig veröffentlicht worden. Er hat indess die Einwirkung des Lichts auf die in dieser Hinsicht empfindlichsten Silbersalze in einer Zeichnung* dargestellt, die ich mit seiner Erlaubniss hier wiedergebe.

* Science Lectures at South Kensington. Photography.
By Capt. Albany, R. E., F. R. S.

VIERTES KAPITEL.

Anwendung der Spectralanalyse auf die Molekulartheorie.

Was sind Atome und was sind Moleküle? Die Chemiker sprechen von den Atomgewichten der Elemente, definiren das Molekularvolum derselben u. dgl. „Ein Atom ist die geringste Gewichtsmenge eines Elements, die in eine chemische Verbindung eintritt oder aus derselben austritt.“ Mit diesen Worten ungefähr werden wir in irgendeinem Lehrbuch der Chemie, welches wir zu Rathe ziehen, das Atom definirt finden. Wenn die Atome einer gewissen Materie isolirt, d. h. von den Atomen einer andern Art von Materie getrennt werden — so erfahren wir weiter aus den Lehrbüchern der Chemie —, so existiren sie nicht nothwendigerweise als Atome in dem ursprünglichen Sinne des Wortes, sondern sie treten, und zwar in der Regel zu zweien, miteinander in Verbindung. Eine solche Verbindung von Atomen nennt der Chemiker ein Molekül. Dieses ist der Unterschied, den die Chemie zwischen Atom und Molekül macht.

Wenden wir uns nun dem Gebiete der Physik zu und suchen wir zu ermitteln, welche Begriffe diese Wissenschaft mit den Worten Atom und Molekül verbindet. Es ist bemerkenswerth, dass wir in Clerk-Maxwells „Theorie der Wärme“, in welcher die physikalische Molekulartheorie eingehend besprochen wird,

dem Worte „Atom“ gar nicht begegnen. Wir werden sofort mit dem Wort „Molekül“ bekannt gemacht, welches definirt wird als „eine kleine Masse von Materie, deren Theile sich während der Ausschläge, die das Molekül macht, wenn der Körper, zu welchem es gehört, warm ist, nicht voneinander trennen“.*

Clerk-Maxwell führt dann die wichtigsten Eigenschaften dieser Moleküle an, wie sich dieselben aus den von ihm selbst und andern angestellten Untersuchungen ergeben. Ich lasse hier einige dieser Ergebnisse folgen: „Alle Körper bestehen aus einer begrenzten Anzahl von kleinen Theilen, Moleküle genannt. Jedes Molekül besteht aus einer bestimmten Menge Materie, welche für alle Moleküle derselben Substanz genau dieselbe ist. Die Art, in welcher das Molekül zusammengehalten wird, ist ebenso für alle Moleküle derselben Substanz dieselbe. Ein Molekül kann aus mehreren verschiedenartigen Theilen von Materie bestehen, die durch chemische Kräfte zusammengehalten werden; es kann in Schwingung, Drehung oder irgend-eine andere Art von gegenseitiger Bewegung der Moleküle versetzt werden. Solange sich hierbei die verschiedenen Theile nicht voneinander trennen, sondern bei den einzelnen Ausschlägen des Moleküls sich zusammen fortbewegen, nennt unsere Theorie die ganze zusammenhängende Masse ein einzelnes Molekül.“**

Nach dieser Erweiterung der Definition des Moleküls wird dann weiter hervorgehoben, dass sich die Moleküle aller Körper in einem Zustand fortwährender Bewegung befinden.

Dass diese Bewegung in den allerkleinsten Theilchen der Körper stattfindet, geht zum Theil aus der That-sache hervor, dass wir die Bewegung der Körper nicht sehen können.

* Clerk-Maxwell, Theorie der Wärme (deutsch von Neesen, Braunschweig 1878), S. 346.

** A. a. O., S. 347.

Welches ist nun nach dieser Theorie der Unterschied zwischen dem festen, flüssigen und gasförmigen Aggregatzustand der Materie?

In einem festen Körper entfernt sich das Molekül nie über eine gewisse Grenze hinaus von seiner ursprünglichen Lage. Der Weg, den es beschreibt, ist auf einen sehr geringen Raumtheil beschränkt. Professor Clifford hat dies in einer Vorlesung über Atome durch folgendes Bild veranschaulicht. Er denkt sich in der Mitte eines Zimmers einen Körper, der durch elastische Bänder mit der Decke, dem Boden und den vier Wänden des Zimmers verbunden ist. Wird jetzt der Körper aus seiner Ruhelage gezogen, so wird er eine schwingende Bewegung ausführen, doch stets um eine mittlere Lage, aus welcher er sich nie weit entfernt, sondern indem er fortwährend wieder in dieselbe zurückkehrt.

Was sodann die Flüssigkeiten betrifft, so will ich Maxwell's eigene Worte über das Verhalten derselben anführen (S. 348): „Bei Flüssigkeiten ist andererseits keine solche Beschränkung für die Schwingungen eines Moleküls. Es ist richtig, dass das Molekül im allgemeinen nur eine kleine Strecke zurücklegen kann, ehe sein Weg durch die Begegnung mit andern Molekülen gestört wird; nach dieser Begegnung ist aber nichts vorhanden, welches das Molekül bestimmt, lieber zu dem Platze, von welchem es ausging, zurückzukehren, als seinen Weg in neue Regionen fortzusetzen. Daher ist bei Flüssigkeiten der Weg eines Moleküls nicht auf einen begrenzten Raum beschränkt, wie bei festen Körpern; das Molekül kann in jeden Theil des Raums, welchen die Flüssigkeit einnimmt, vordringen.“

So haben wir uns die Bewegung des Moleküls in einem festen und einem flüssigen Körper vorzustellen. In welcher Weise geht nun aber die Bewegung in einem gasförmigen Körper vor sich?

„Man nimmt an, dass ein gasförmiger Körper aus einer grossen Anzahl von Molekülen besteht, die sich mit grosser Geschwindigkeit bewegen.“ So legen z. B.

die Moleküle der Luft ungefähr 30 Kilometer in der Minute zurück. „Während des grössten Theils ihrer Bahn unterliegen die Moleküle keinem merklichen Kraft-einfluss und bewegen sich daher mit gleichförmiger Geschwindigkeit in geraden Linien. Kommen zwei Moleküle in eine gewisse Nähe zueinander, so tritt eine gegenseitige Wirkung zwischen denselben ein, welche mit dem Zusammenstoss zweier Billardbälle verglichen werden kann. Jedes Molekül hat seine Bahn geändert und bewegt sich auf einem neuen Wege vorwärts.“

Die gegenseitige Einwirkung zwischen zwei Molekülen wird als ein Zusammenstoss, die Bahn eines Moleküls zwischen zwei aufeinanderfolgenden Zusammenstössen als freie Weglänge definirt. „Bei gewöhnlichen Gasen“, heisst es dann weiter, „nimmt die freie Bewegung eines Moleküls mehr Zeit in Anspruch wie ein Zusammenstoss. Wird die Dichtigkeit des Gases grösser, so verringert sich die freie Weglänge; bei Flüssigkeiten kann kein Theil der Bahn eines Moleküls als eine freie Weglänge bezeichnet werden.“

Die kinetische Theorie der Gase, auf welche sich diese Sätze gründen, bietet den grossen Vortheil, dass sie gewisse Thatfachen erklärt, die auf experimentellem Wege gewonnen und bestätigt waren, die aber erst durch die Aufstellung dieser Molekulartheorie ihre theoretische Erklärung fanden. Durch die Annahme der Existenz gewisser kleiner Körperchen, die sich sehr schnell in Gasen, weniger schnell in Flüssigkeiten und noch langsamer in festen Körpern bewegen, erklärt diese Theorie in höchst befriedigender Weise eine ganze Anzahl von Erscheinungen, die man so allgemein bestätigt findet, dass man ihnen den Namen von Gesetzen beigelegt hat. So findet unter andern auch das Boyle'sche Gesetz durch diese Theorie seine Erklärung.

Nach dieser Theorie, welche die Erscheinungen durch Annahme von Molekülen und deren Bewegungen erklärt, wird der Druck eines Gases durch das Bombardement erzeugt, welches die Wände des Gefässes, in

welchem das Gas enthalten ist, durch die in Bewegung befindlichen Moleküle erleiden. Die Temperatur eines Gases hängt von der Geschwindigkeit der Moleküle ab, und diese Geschwindigkeit der Moleküle ist in demselben Gas für dieselbe Temperatur dieselbe, welches auch die Dichtigkeit des Gases sein mag. Wenn sich die Dichtigkeit ändert, so ändert sich auch der Druck in demselben Verhältniss. Dies ist das Boyle'sche Gesetz. Die Dichtigkeiten zweier Gase bei derselben Temperatur und demselben Druck verhalten sich wie die Massen ihrer Moleküle oder bei gleicher Temperatur und gleichem Druck ist die Anzahl der Moleküle in der Volumeinheit dieselbe. Dies ist das Gay-Lussac'sche Gesetz.

Aus dem Gesagten ergibt sich der Unterschied zwischen dem Atom des Chemikers und dem Molekül des Physikers, sowie die Verschiedenheit der von beiden angewandten Untersuchungsmethoden. Der Chemiker kümmert sich ebenso wenig um das Zusammenstossen der Moleküle als der Physiker um das Gewicht der Atome. Der Physiker erblickt von seinem Standpunkt aus nur ein beständiges Hin- und Herfliegen und Aneinanderprallen der Moleküle, er beschäftigt sich nicht mit der Materie der Moleküle, sondern nur mit den mannichfaltigen Bewegungen, welche dieselben ausführen.

Während das Molekül seine freie Weglänge nach einem Zusammenstoss durchläuft, führt es nach der Annahme der Molekulartheorie Schwingungen nach einem bestimmten ihm eigenthümlichen Gesetze aus.* Dies Gesetz ist durch den Bau des Moleküls oder mit andern Worten, durch die chemische Natur desselben bestimmt, sodass die Schwingungen eines Natriumtheilchens mit denen eines andern Natriumtheilchens übereinstimmen, dagegen von den Schwingungen verschieden sind, die ein Theilchen einer andern Substanz, z. B. ein Eisen-theilchen ausführt. Ist der freie Weg zwischen zwei

* Maxwell, Theorie der Wärme, S. 371.

Zusammenstößen lang, so werden die Schwingungen des Moleküls aufhören, noch bevor ein zweiter Zusammenstoss erfolgt. Die Ausdehnung der Schwingung hängt von der Art des Zusammenstosses ab und ist in gewissem Sinne von der Anzahl der Zusammenstösse unabhängig.

Wir können uns vorstellen, dass entweder eine geringe Anzahl schwacher Zusammenstösse oder eine grosse Anzahl schwacher Zusammenstösse, oder eine geringe Anzahl starker Zusammenstösse, oder endlich eine grosse Anzahl starker Zusammenstösse stattfindet.

Im Falle schwacher Zusammenstösse können wir von einer geringen Anzahl zu einer grössern Anzahl durch Vergrösserung der Dichtigkeit übergehen.

Bei starken Zusammenstößen gehen wir von niedriger Temperatur mit geringer Dichtigkeit zu hoher Temperatur mit grosser Dichtigkeit über.

Wenn die Dichtigkeit zunimmt, nimmt die „freie Weglänge“ ab.

Wenn die Temperatur zunimmt, nimmt auch die Intensität der Schwingungen zu.

Je kürzer die freie Weglänge ist, desto verwickelter sind die Schwingungen.

Je bestimmter der Zusammenstoss ist, desto deutlicher und kräftiger sind auch die Schwingungen, und zwar nicht nur die Fundamentalschwingungen, wie wir sie nennen können, wenn die freie Weglänge sehr gross ist, sondern überhaupt alle möglichen Schwingungen, die ein Molekül ausführen kann.

Warum sind nun diese ausführlichen Erörterungen über die Schwingungen der Moleküle nothwendig? Weil wir annehmen, dass jede Molekularschwingung den Aether in Bewegung setzt, dass die Spectra in der Weise erzeugt werden, dass jede Wellenlänge des Lichts der Wellenlänge eines schwingenden Moleküls entspricht. Bei dieser Art von Telegraph, um mich dieses Vergleichs zu bedienen, ist das Molekül der Sender, der Aether der Draht und das Auge der Empfänger.

Wir wollen zunächst wieder das Gebiet des Schalls zu Hülfe rufen, um uns das Verständniss dieser Betrachtungen über die Lichtschwingungen zu erleichtern.

Wir wollen die Bewegungen eines Moleküls der Materie, welcher Art sie auch sein mögen, Schwingungen nennen. Um einen möglichst einfachen und bestimmten Begriff einer Lichtquelle zu erhalten, wollen wir sie mit der einfachsten Schallquelle, einer Stimmgabel, vergleichen.

Dieselbe Stimmgabel gibt uns stets ein und denselben bestimmten Ton, doch ist dieser Ton viel complicirter, als es auf den ersten Blick erscheint. Ausser dem vorherrschenden Ton, welcher von der Anzahl der Schwingungen abhängt, entstehen, wie wir gesehen haben, noch andere Töne, die zu dem vorherrschenden, dem sogenannten Grundton, in einer ganz bestimmten Beziehung stehen. Die Stärke aller dieser Töne hängt, wie wir ebenfalls gesehen haben, von der Weite der Schwingungen der Stimmgabel ab.

Es gibt indess andere Arten von Schwingungen, die viel verwickelter sind als in dem vorliegenden Fall.

In der Geige haben wir ein passendes Beispiel, welches uns zeigt, dass die Qualität des erzeugten Tons, d. h. die Qualität der Schwingungen, welche die Saite macht, von der Art und Weise abhängt, in welcher der Bogen über die Saite gezogen wird.

Ebenso schwingt eine Platte, wenn sie an verschiedenen Punkten festgehalten wird, in ganz verschiedener Weise.

Verbreitet nun das Spectroskop einiges Licht über die Frage nach der molekularen Beschaffenheit der Materie? Ist zu erwarten, dass durch Erweiterung der spectroscopischen Studien die Kenntniss eines Gegenstandes gefördert wird, welcher die Grundlage der chemischen und physikalischen Forschung bildet?

Um eine Beantwortung dieser Fragen zu ermöglichen, will ich zunächst das, was wir bisjetzt in dieser Hinsicht wissen, in einigen Sätzen zusammenfassen. Ich

will sowol die experimentelle Grundlage, auf welcher diese Sätze beruhen, als auch die Methoden anführen, durch welche diese Resultate erzielt worden sind.

Um nicht an eine Unterscheidung des „Atoms“ und „Moleküls“ des Chemikers und des „Moleküls“ des Physikers gebunden zu sein, werde ich mich im Folgenden des neutralen Ausdrucks „Massentheilchen“ bedienen.

§. 1. *Strahlung.*

1. *Wenn Körper im festen oder flüssigen Zustand glühen, so erzeugen die Lichtstrahlen, welche die Moleküle derselben aussenden, ein Spectrum, welches in seiner ganzen Ausdehnung continuirlich ist.*

Dies war eins der ersten allgemeinen Resultate Kirchhoff's.

Es ist für die Molekulartheorie jedenfalls eine wichtige Thatsache, dass alle festen und flüssigen Körper, deren Theilchen sich in der bereits angegebenen Weise bewegen, ein Spectrum geben, welches ganz verschieden von demjenigen ist, welches man erhält, wenn der erzeugende Körper sich im gasförmigen Zustand befindet. Wird ein Stück Eisen in einem Feuer glühend gemacht, so wird es anfangs dunkel rothglühend, dann hell rothglühend und endlich weissglühend. Alle Schwingungen, welche das glühende Eisen ausstrahlt, bilden eine ununterbrochene Reihe ohne Unterbrechung. In ähnlicher Weise können wir einen Platindraht durch einen elektrischen Strom glühend machen. Unterwirft man das von ihm ausgestrahlte Licht der Analyse mit dem Spectroskop, so erhält man, wie beim Eisen, ein ununterbrochenes Spectrum. Ebenso würde uns der Sonnenkörper, wenn er nicht von der absorbirenden Atmosphäre umgeben wäre, ein ebenso vollkommen continuirliches Spectrum geben, wie ein glühendes Eisen oder ein glühender Platindraht.

In diesem continuirlichen Spectrum haben wir eine Erscheinung, welche im engsten Zusammenhang mit derjenigen Art der Molekularbewegung steht, welche die Physiker den Massentheilchen zuschreiben, solange sie so eng miteinander verbunden sind wie im festen Zustand, oder einen so geringen freien Weg haben wie im flüssigen Zustand der Körper.

2. *Befinden sich die Massentheilchen im gasförmigen oder dampfförmigen Zustand und werden durch Elektrizität von hoher Spannung glühend gemacht, so werden bei allen chemischen Elementen Linienspectra erzeugt.*

Diese Linienspectra erhält man nur bei Gasen und Dämpfen und mit wenigen Ausnahmen nur durch Anwendung von Elektrizität von hoher Spannung.

Wir erhalten also ein von dem vorigen vollkommen verschiedenes spectroscopisches Resultat in dem Falle, in welchem sich nach der Ansicht der Physiker die Massentheilchen der Körper in einem Zustand heftiger Bewegung befinden.

3. *Die charakteristische Schwingung eines Massentheilchens ist unabhängig von der Länge des freien Wegs.*

Die kinetische Theorie der Gase in ihrer gewöhnlichen Form enthält nichts, was uns zu der Annahme zwingt, dass ein und dasselbe Theilchen nicht im festen, flüssigen und gasförmigen Zustand existiren könne, indem sich weiter nichts ändert als die Grösse der freien Weglänge.

Da nun die festen und gasförmigen Körper Spectra ganz verschiedener Art zeigen (siehe 1. und 2.), während das Massentheilchen in beiden Fällen dasselbe ist, so sind wir genöthigt, anzunehmen, dass unter verschiedenen Bedingungen der freien Weglänge ein und dasselbe Massentheilchen in verschiedene Schwingungszustände versetzt und daher verschiedene Spectra erzeugen kann.

Es fragt sich nun, ob wir einige Thatsachen kennen, welche diese Annahme bestätigen. Wir kennen nach

meiner Ansicht allerdings solche Thatsachen, obwol dieselben, was Anzahl und Beweiskraft derselben betrifft, vielleicht nicht allgemein als genügend anerkannt werden dürften. Allein man darf nicht vergessen, dass gerade in diesen Fragen ausgedehnte experimentelle Untersuchungen kaum ausführbar sind.

Alle Thatsachen, die wir kennen, sprechen indess dafür, dass eine Veränderung der molekularen Beschaffenheit stets von einer Aenderung des Spectrums begleitet ist. So hat z. B. der Schwefel bei 1000° C., bei welcher Temperatur sich seine Dampfdichte ändert, zwei verschiedene Spectra.

Salze haben ihre eigenen Spectra, in denen weder die Linien des Metalls noch die der Metalloide, die das Salz bilden, auftreten.

Ein anderer Umstand, der für unsere Annahme spricht, besteht darin, dass wir Dämpfe mit Flüssigkeiten mischen können, ohne dass sich der Charakter des Dampfspectrums ändert, d. h. die umgebenden Flüssigkeitstheilchen verhalten sich in dem einen Fall genau ebenso wie die Lufttheilchen in einem andern Fall. Beispiele bilden Lösungen von Iod in Schwefelkohlenstoff, von Stickstoffperoxyd in Wasser und von Didymsalzen in Wasser.

Ja wir können sogar einige Substanzen (Salze von Didym, Erbium, Nickel, Kobalt) in Glas einschliessen und wir erhalten in jedem Falle ein so eigenthümliches Spectrum, dass wir erkennen, dass die Theilchen trotz des Mangels freier Weglänge und trotz des „festen“ Zustandes der umgebenden Masse sich in Schwingung befinden.

Ich werde bei anderer Gelegenheit noch andere Gründe anführen, die uns zeigen, dass die Ursache, weshalb wir diese charakteristischen Spectra so selten in Verbindung mit dem festen Aggregatzustand wahrnehmen, darin liegt, dass der feste Zustand nicht nur durch eine Verminderung der freien Weglänge, infolgedessen die Moleküle näher aneinander rücken, sondern auch durch Verminderung der molekularen Bewegung

erzeugt wird, welche höchst wahrscheinlich die Moleküle befähigt, sich untereinander zu verbinden.

4. *In manchen Fällen können Massentheilchen im gasförmigen oder dampfförmigen Zustand durch Wärmewellen in Schwingung versetzt werden.*

Werden Natrium- und Strontiumsalze der Hitze eines Bunsen'schen Brenners ausgesetzt, so erleiden dieselben sofort eine Dissociation, die Theilchen der Metalle werden durch die Wärmewellen in Schwingung versetzt und wir erhalten in den Spectren die Linien ihrer Dämpfe. Dies ist nicht nur bei Salzen des Natriums und des Strontiums der Fall, sondern auch bei einigen Elementen selbst. Werden dagegen Salze des Eisens oder anderer schwerer Metalle in die Flamme gebracht, so erhalten wir keine hellen Linien. Ebenso erhalten wir durch andere Dämpfe, z. B. des Schwefels, keine hellen Linien, sondern nur ein continuirliches Spectrum. Die Temperatur der Flamme eines Bunsen'schen Brenners ist nur für wenige, leicht zu verflüchtigende Verbindungen zur Erzeugung eines Linienspectrums ausreichend.

5. *Die Spectra der einfachen und der zusammengesetzten Körper ändern sich mit der Temperatur.*

Es ist bereits bemerkt worden, dass die Hitze der Flamme eines Bunsen'schen Brenners genügt, um ein Natriumatom aus seiner Verbindung mit einem Chloratom zu befreien und das Linienspectrum des Natriums zu erzeugen, was bei Eisen und andern schweren Metallen nicht der Fall ist. Wir wollen die Temperatur, welche zur Erzeugung des Natriumspectrums ausreichend ist, als eine erste Temperaturstufe bezeichnen. Von zahlreichen einwerthigen Metallen erhalten wir das Linienspectrum bei niedriger Temperatur. Untersuchen wir dagegen das Verhalten zweiwerthiger Metalle, z. B. von Zink und Cadmium, so finden wir, dass diese Temperatur dieselben nur rothglühend oder weissglühend macht, während zum Verdampfen derselben eine viel höhere Temperatur erforderlich ist. Ein Linienspectrum

erhalten wir aber nur dann, wenn sich der leuchtende Körper in Dampfform befindet. Die erste Stufe der Temperatur, welche beim Natrium das Linienspectrum erzeugt, ist bei dem Cadmium zur Erzeugung des Linienspectrums nicht genügend.

Für gewisse Körper ist also jedenfalls eine höhere, eine zweite Temperaturstufe erforderlich, um ein Linienspectrum zu erzeugen. Der Schwefel z. B. gibt bei der ersten Temperaturstufe ein continuirliches Spectrum. Was ist der Fall, wenn ich die Temperatur bis zur zweiten Stufe steigere? Erhalte ich ein Linienspectrum wie bei dem Natrium? Keineswegs. Ich erhalte ein mit dem Kohlenstoffspectrum vergleichbares Spectrum, aber kein Linienspectrum. Ich steigere die Temperatur bis zu einer noch höhern dritten Stufe und dann erhalte ich ein Linienspectrum. So können wir bei den Metalloiden drei Temperaturstufen unterscheiden, denen drei verschiedene Spectra entsprechen. Wenn wir dieses Verhalten bei allen Metalloiden beobachten, sind wir dann nicht zu der Frage berechtigt, ob die eigenthümliche Constitution der Moleküle der Metalloide nicht wesentlich verschieden ist von der Zusammensetzung der Metallmoleküle? Muss uns dies Verhalten nicht auf den Gedanken bringen, dass ein gewisser Zusammenhang zwischen der Temperatur und den Atomgewichten der Chemiker existirt?

Ich lasse hier zunächst eine tabellarische Zusammenstellung dieser Resultate folgen, aus welcher hervorgeht, dass bei den Metallen, wie Natrium, das Linienspectrum, dagegen bei den Metalloiden, wie Schwefel, das säulenstreifige Spectrum vorherrscht.

	<i>Na</i>	<i>Cd</i>	<i>S</i>
5. Stufe. Funken	Liniensp.	Liniensp.	Liniensp.
4. Stufe. Flammenbogen . .	Liniensp.	Liniensp.	Säulenstr. Sp.
3. Stufe. Weissglut	Liniensp.	?	Säulenstr. Sp.
2. Stufe. Helle Rothglut . .	Liniensp.	Contin. Absorption im Blau.	Säulenstr. Sp.
1. Stufe. Dunkle Rothglut .	Liniensp.	Continuirl. Sp.	Contin. Absorption im Blau.

6. *Es würde gewagt sein, aus der Thatsache, dass uns die Spectra zusammengesetzter Gase Linien zeigen, den Schluss zu ziehen, dass zusammengesetzte Körper, die bei der höchsten für uns erreichbaren Temperatur das Spectrum eines sogenannten Elements geben, nicht bei einer noch höhern Temperatur zerlegt werden können.*

Dieser Satz ist nicht nur für die Untersuchung irdischer Stoffe, sondern auch für die Untersuchung der Himmelskörper von Wichtigkeit. Eingehenderes über diesen Punkt findet der Leser in dem Kapitel über die Dissociation.

7. *Die Veränderungen, welche das Spectrum einer einfachen Materie durch Veränderung der Temperatur erleidet, scheinen die Richtigkeit der Annahme zu bestätigen, dass eine feste Masse bei steigender Temperatur (die Wirkung der Elektricität einbegriffen) eine der Temperaturzunahme entsprechende Zerlegung erleidet.*

Die Erscheinungen, auf welche sich die Begründung dieser Behauptung stützt, zeigt das Spectroskop in der Region des sichtbaren Spectrums.

Alle festen Körper, um mit den äussersten Grenzfällen zu beginnen, geben uns continuirliche Spectra, alle Dämpfe dagegen, die durch Elektricität von hoher Spannung erzeugt werden, geben Linienspectra.

Das Linienspectrum kann daher bei chemischen Verbindungen beobachtet werden und wird thatsächlich beobachtet, indem alle zusammengesetzten Körper, die als solche bekannt sind, durch den elektrischen Funken von hoher Spannung in ihre Bestandtheile zerlegt werden. Wir sind daher zu der Annahme berechtigt, dass ein Element im festen Zustand eine complicirtere Masse ist als das Element im dampfförmigen Zustand, da sein Spectrum dasselbe ist wie dasjenige einer Masse, von welcher bekannt ist, dass sie eine complicirtere Zusammensetzung hat.

Das Spectroskop macht uns auch mit Thatsachen bekannt, die die Richtigkeit der Annahme für die zwischenliegenden Temperaturstufen erweist.

a. Die Spectra ändern sich, und zwar stets in demselben Sinne, wenn wir von dem Inductionsstrom mit Leydener Flasche zum Funken ohne Flasche, zum elektrischen Flammenbogen oder zu den höchsten durch Verbrennung erzeugten Temperaturen übergehen. Auch hier ist das Spectrum, welches wir von Elementen im gasförmigen Zustand erhalten, demjenigen ähnlich, welches wir von Dämpfen erhalten, deren zusammengesetzte Natur ausser Zweifel steht.

b. Bei hohen durch Verbrennung erzeugten Temperaturen geben einige Elemente (die bei dieser Temperatur weder Linienspectra noch säulenstreifige Spectra, dagegen durch Anwendung von Elektrizität unzweifelhaft Linienspectra geben) ein continuirliches Spectrum an dem stärker brechbaren Ende des Spectrums, nicht dagegen an dem weniger brechbaren Ende.

c. Bei einigen Elementen, z. B. Selen, ist das Ende der am stärksten brechbaren Strahlen absorbirt. In andern Fällen ist das continuirliche Spectrum am blauen Ende von einem continuirlichen Spectrum am rothen Ende begleitet. Durch Anwendung von Hitze verschwindet das Spectrum am rothen Ende, während es am blauen Ende bleibt. Ferner hat Faraday in seinen Untersuchungen über das Blattgold gezeigt, dass die Massen, welche im blauen Ende absorbiren, von denjenigen, die im rothen Ende absorbiren, isolirt werden können. Es ist bekannt, dass viele zusammengesetzte Substanzen in Lösung eine Absorption im Blau oder im Roth bewirken, ebenso dass die Hinzufügung einer zusammengesetzten Substanz, wie Wasser, zu ebenfalls zusammengesetzten Substanzen, welche im Blau absorbiren, eine weitere Absorption in Roth bewirkt.

In denjenigen Fällen, welche mit den angeführten Erscheinungen nicht im Einklang stehen, darf man nicht vergessen, dass das sichtbare Spectrum nur einen begrenzten Theil des Gesamtspectrums bildet. So bezweifle ich nicht, dass die einfachen Gase unter den gewöhnlichen

Bedingungen des Drucks und der Temperatur eine Absorption im Ultraviolett bewirken, und dass sehr zusammengesetzte Dämpfe oft deshalb farblos sind, weil ihre Absorption jenseit des rothen oder gleichzeitig jenseit des rothen und violetten Endes des sichtbaren Spectrums liegt. Ein gutes Beispiel bietet das Glas, dessen Durchsichtigkeit offenbar einen Widerspruch gegen die Undurchsichtigkeit der in ihm enthaltenen Metalle bildet.

Wenn wir in Uebereinstimmung mit dem Gesagten annehmen, dass die verschiedenen Arten der Spectra verschiedenen Molekularzuständen entsprechen, so erhalten wir die folgende Reihe, welche von dem einfachen zum complicirten Molekularzustand fortschreitet.

Erste Stufe . . . Linienspectrum.

Zweite Stufe . . Säulenstreifiges Spectrum.

Dritte Stufe . . { Continuirliche Absorption am blauen Ende,
welche nicht bis zum rothen Ende reicht.
(Kann in ein säulenstreifiges Spectrum
übergehen.

Vierte Stufe . . { Continuirliche Absorption am rothen Ende,
die nicht das blaue Ende erreicht. (Kann
in ein säulenstreifiges Spectrum über-
gehen.

Fünfte Stufe . . { Continuirliche Absorption durch das ganze
Spectrum.

Einige Beispiele des Uebergangs der Spectra von einer Stufe zu einer andern mögen hier Erwähnung finden.

Die Absorption von Kaliumdämpfen in einem rothglühenden Rohr ist zuerst continuirlich. Wird die Hitze gesteigert, so theilt sich das continuirliche Spectrum in der Mitte und der eine Theil zieht sich gegen das rothe, der andere gegen das blaue Ende zurück. Es findet also ein Uebergang von der fünften zur vierten Stufe statt.

Ein sehr gutes Beispiel für den Uebergang von der vierten zu der dritten Stufe bieten die Untersuchungen

Pl. V

C

Faraday's über das Blattgold. Ich bin indess der Ansicht, dass meine Erklärung durch Annahme von Massen von nur zwei Graden der Complexität ausreichend und die Annahme Faraday's von dem Vorhandensein mehrerer Zwischenstufen nicht nöthig ist.

Gold hat bekanntlich im allgemeinen eine gelbe Farbe, doch ist es zuweilen auch blau und roth. Es ist jedenfalls durchaus einleuchtend, dass, wenn Massentheilchen schwingen, die Farben der Substanzen mit diesen Schwingungen in einer bestimmten Beziehung stehen müssen. Da nun das Spectrum im wesentlichen aus Roth, Gelb und Blau besteht, so müssen in einer Substanz, die nur gelbe Strahlen durchlässt oder reflectirt, auch die rothen und blauen Strahlen irgendetwas bewirken. Halten wir Blattgold vor eine Kalklichtflamme, so können wir beobachten, ob das Gelb eine Veränderung erleidet oder nicht. Das Gelb verschwindet, wir haben eine grüne Farbe, Roth und Blau fehlen. Blattgold hat indess immer noch eine bedeutende Dicke. Was würde der Fall sein, wenn ich dieselbe vermindern könnte? Die Farbe würde mehr violett werden. Dies habe ich durch Anwendung von Königswasser bestätigt. Wir können aber auch eine Lösung von feinem Gold erhalten, welche das rothe Licht durchlässt. Andererseits können wir auch eine Lösung erhalten, welche nur das blaue Licht durchlässt. Was ist nun der Unterschied zwischen dem Gold in diesen Lösungen und demjenigen Gold, welches im reflectirten Licht gelb und im durchgelassenen Licht grün oder violett erscheint? Dies ist eine Frage, die wol eines eingehenden Studiums werth ist. Hier lasse ich noch einige andere Beispiele folgen. Man nehme etwas Kobaltchlorid, welches eine blaue Farbe hat, bringe dasselbe in ein Reagenzgläschen und füge Wasser hinzu. Die blaue Farbe verwandelt sich in Roth. Warum verwandelt sich Blau in Roth? Nickelchlorid hat eine gelbe Farbe. Lösen wir es in Wasser auf, so wird die Farbe grün. Es entsteht nun die Frage, warum findet

diese Veränderung statt und steht die grüne Farbe dieser Lösung in irgendeiner Beziehung zu der rothen Farbe der Goldlösung?

Ein Beispiel von einem Uebergang von der dritten Stufe zu der zweiten bietet uns der Schwefeldampf. Derselbe gibt zuerst eine continuirliche Absorption im blauen Ende. Bei zunehmender Wärme löst sich dieselbe in ein säulenstreifiges Spectrum auf.

Die säulenstreifigen Spectra von Kalium und Natrium erscheinen, nachdem die continuirliche Absorption im blauen und rothen Ende verschwunden ist.

8. *Linienpectra werden bei steigender Dichtigkeit oder Temperatur complicirter, vorausgesetzt, dass der gasförmige Zustand erhalten bleibt.*

Diese durch die Beobachtung bestätigte Thatsache ist für die Molekulartheorie von nicht zu unterschätzender Wichtigkeit. In den festen Körpern können die Theilchen nur innerhalb enger Grenzen um eine mittlere Lage schwingen. In Gasen dagegen können sie sich mit ungeheurer Geschwindigkeit längs ihres freien Wegs bewegen und zugleich noch schwingende und drehende Bewegungen ausführen, und diese Bewegungen können wir auf spectrokopischem Wege in den Verschiedenheiten der Erscheinungen beobachten. Haben wir es mit einem Körper im festen oder flüssigen Zustand zu thun, so beobachten wir ein continuirliches Spectrum, befindet sich der Körper in einem sehr feinen gasförmigen Zustand, so besteht das Spectrum aus einer einzelnen Linie. Experimentiren wir mit einem Gas bei niedrigem Druck und nicht allzu hoher Temperatur, so ist es möglich, soweit das sichtbare Spectrum reicht, von jedem beliebigen Gas und jedem Dampf ein Spectrum zu erhalten, welches aus einer einzelnen Linie besteht. Steigern wir die Dichtigkeit und somit die Anzahl der Zusammenstöße, oder steigern wir die Temperatur und also auch die Energie der einzelnen Zusammenstöße, so wird das Spectrum immer complicirter.

9. *In den Spectren der Metalle kann die complicirtere Beschaffenheit in zwei verschiedenen Formen auftreten.*

Wir können uns leicht vorstellen, dass die Theilchen sich um so mehr abkühlen und ihre Energie verlieren, je weiter sie sich von der Wärmequelle entfernen. Je näher die Theilchen dem Mittelpunkt sind, desto heftiger fliegen sie hin und her und desto mehr Linien erhalten wir im Spectrum. Es ist von Wichtigkeit, zu bemerken, dass eine Schwingung, die einmal begonnen hat, beständig fort dauert; sie lässt keinen Raum für neue Schwingungen, obwol sie die Entstehung neuer Schwingungen veranlassen kann, sodass wir im Mittelpunkt, wo die Theilchen am dichtesten zusammengedrängt sind, die grösste Anzahl von Linien erhalten.

Hier muss die Thatsache besonders hervorgehoben werden, dass die Art und Weise, in welcher sich die complicirtere Beschaffenheit des Spectrums geltend macht, bei verschiedenen Substanzen eine verschiedene ist. Die Tafel VII. enthält eine Photographie der Spectra von Aluminium und Calcium, sowie des Spectrums des Meteoriten von Lenarto. Die Spectra von Aluminium und Calcium unterscheiden sich wesentlich von dem Spectrum des Meteoriten. Ich mache namentlich auf die dicken und verschwommenen Linien in den Spectren der Metalle aufmerksam. Die beiden ersten Spectra bilden ein gutes Beispiel derjenigen, die durch Breiterwerden der Linien, das dritte ein Beispiel derjenigen, die durch Vermehrung der Anzahl der Linien glänzender werden.

10. *Bei Anwendung niedriger Temperaturen beobachtet man im allgemeinen einen wesentlichen Unterschied zwischen den Spectren der Metalle und denen der Metalloide.*

Der Unterschied zwischen diesen beiden Gruppen von Verbindungen ist von spectroskopischem Gesichtspunkt aus viel leichter zu definiren als vom chemischen. Ein Theil des Spectrums des Kohlenstoffdampfs, der stets

zwischen den Kohlenspitzen der elektrischen Lampe vorhanden, ist ein ausgezeichnetes Beispiel eines Metalloidspectrums. Es ist ein echtes „säulenstreifiges“ Spectrum.

11. *Viele Erscheinungen, die man beobachtet, wenn die Molekularschwingung durch Elektrizität erzeugt wird, scheinen darauf hinzudeuten, dass in einigen Fällen alle, in andern dagegen nur einige Moleküle erregt werden.*

Wenn der Funke einer Leydener Flasche in einer Geissler'schen Röhre, die mit Gas von geringer Dichtig-

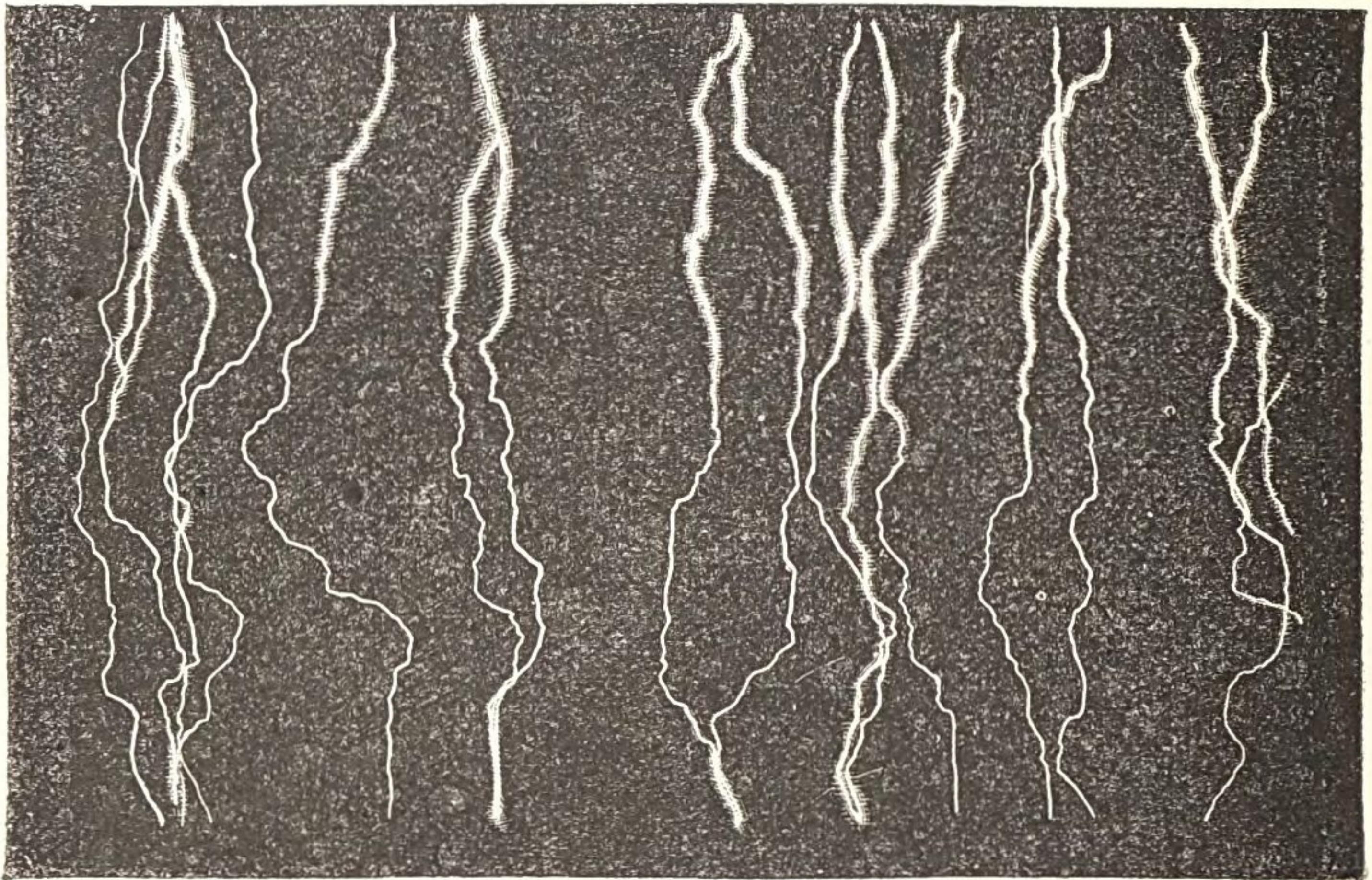


Fig. 40. Copie von Tait's Photographie des elektrischen Funkens in Luft.

keit gefüllt ist, überspringt, so ist es ziemlich sicher, dass alle Moleküle des eingeschlossenen Gases in Schwingung versetzt werden. Wenn dagegen die Röhre eine unregelmässige Gestalt hat oder capillare Theile besitzt, so werden wahrscheinlich nicht alle Moleküle in Schwingung versetzt. In den meisten Fällen aber, wenn der elektrische Funke ohne Leydener Flasche benutzt wird, ausgenommen, wenn der Druck des Gases sehr gering ist, werden wahrscheinlich nicht alle Moleküle in Be-

wegung versetzt. Warum die Richtigkeit dieser Annahme wahrscheinlich ist, ergibt sich aus dem Ansehen der Photographien des elektrischen Funkens, die Professor Tait erhalten hat.

Salet hat in seinen schönen Untersuchungen über den Wasserstoff nachgewiesen, das die Linien schmal sind, wenn ein solcher Funke durch Wasserstoff bei hohem Druck hindurchspringt. Wenn, wie man allgemein annimmt, das Molekül des gewöhnlichen Sauerstoffs aus zwei Atomen besteht, so können wir uns die Bildung von Ozon nicht anders als durch die Annahme erklären, dass nur eine geringe Anzahl der Moleküle von der Wirkung des elektrischen Funkens betroffen werden.

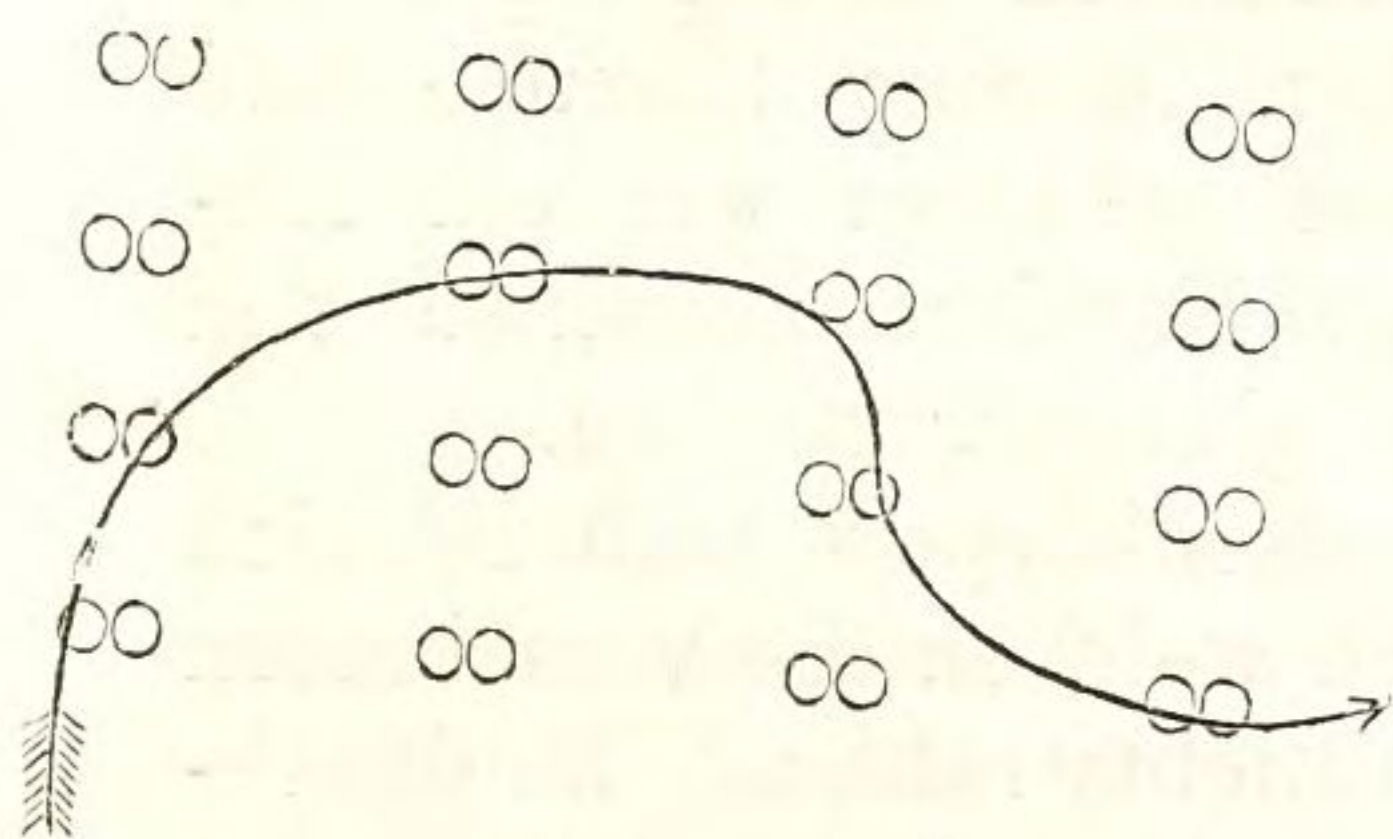


Fig. 41.

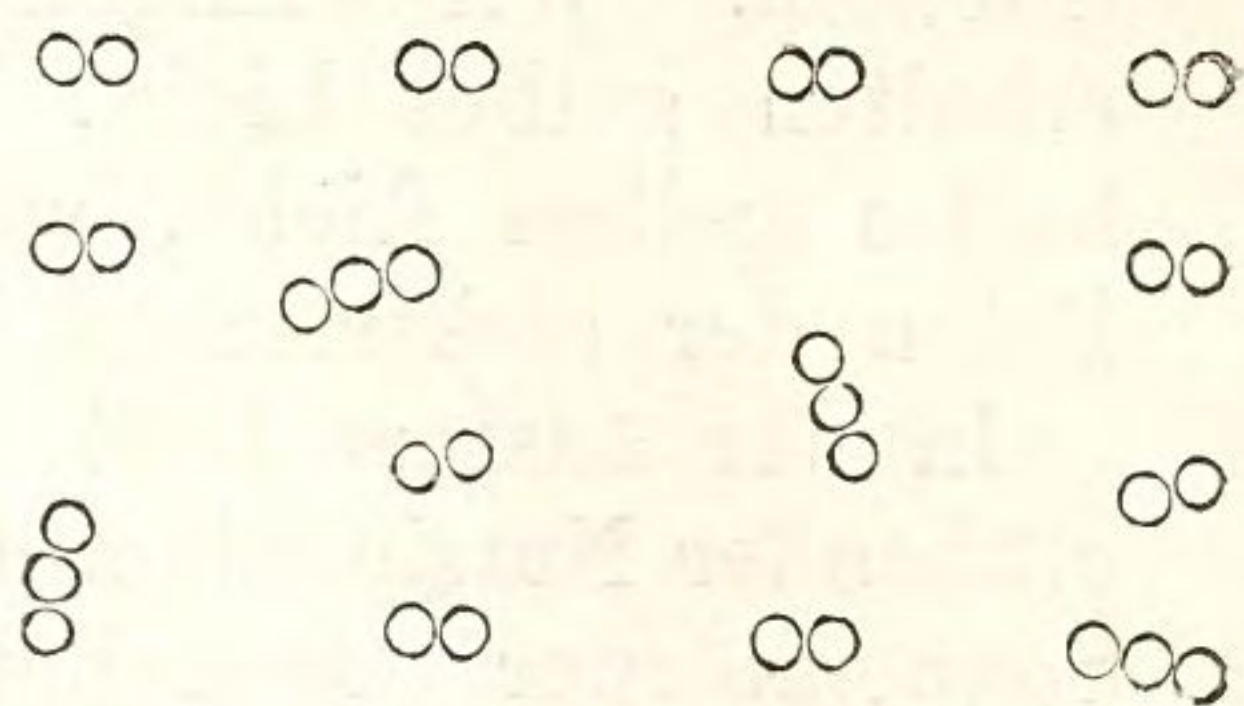


Fig. 42.

Aus vorstehenden Figuren wird hervorgehen, wie dies zu verstehen ist. Fig. 41 soll andeuten, dass sechs zweiatomige Sauerstoffmoleküle vom elektrischen Funken getroffen und in vier dreiatomige Ozonmoleküle, wie in Fig. 42 angedeutet, umgewandelt werden.

In den angeführten Fällen haben wir angenommen, dass alle vom elektrischen Funken getroffenen Moleküle von ein und derselben Art seien. Es sind übrigens auch andere Erscheinungen bei Gasgemengen beobachtet worden, denen bisjetzt noch nicht diejenige Aufmerksamkeit zugewendet worden ist, welche sie verdienen. So ist es, um nur ein Beispiel anzuführen, möglich, in einem Gemenge von Wasserstoff und Quecksilberdampf durch Aenderung der Spannung der Elektrizität und des Gasdrucks sowol das Quecksilberspectrum

und das Wasserstoffspectrum allein, als auch beide gleichzeitig zu erhalten.

12. *Schwingende Massentheilchen absorbiren Licht derselben Wellenlänge und von grösserer Amplitude, gleichviel ob die Schwingungen der Theilchen so schwach sind, dass kein sichtbares Licht von ihnen ausgeht, oder so stark, dass sie eigenes Licht aussenden.*

Dieser Satz bildet eine der wichtigsten Verallgemeinerungen der beobachteten Erscheinungen, die in unserm Jahrhundert gemacht sind und mit welcher die Namen Stokes, Angström, Balfour Stewart und Kirchhoff für immer verbunden sein werden.

Besonders interessant ist dieses Ergebniss, wenn wir es in Beziehung auf die molekularen Bewegungen betrachten. Wir bringen Natrium in eine Flamme und erhalten gelbes Licht. Ebenso erhalten wir ein lebhaftes gelbes Licht, wenn wir Natrium zwischen den Polen der elektrischen Lampe glühend machen.

In der äussern Hülle des Sonnenkörpers befindet sich glühender Natriumdampf, durch welchen die vom innern Sonnenkörper ausgehenden Lichtstrahlen hindurchdringen, bevor sie zur Erde gelangen. In ähnlicher Weise können wir das weisse Licht der elektrischen Lampe durch ein Reagenzgläschen hindurchdringen lassen, welches nichtleuchtenden Natriumdampf enthält. Die Schwingung des Natriumdampfs in der Sonne würde uns das vollständige Linienspectrum des Natriums geben, wenn der innere Sonnenkörper nicht vorhanden wäre und nur die äussere Hülle übrigbliebe. Der Natriumdampf im Reagenzgläschen dagegen ist nichtleuchtend und erzeugt daher für sich kein Spectrum. Dagegen ist in beiden Fällen der Durchgang des Lichts durch den Natriumdampf von einer Absorption begleitet und wir erhalten keine hellen, sondern dunkle Linien.

Unsere Kenntniss der in der Sonne enthaltenen Elemente beruht, wie bereits bemerkt wurde, ausschliesslich auf dem zuerst von Stokes ausgesprochenen Satze,

dass Massentheilchen in Schwingung versetzt werden, wenn sie von Wellen jener ganz bestimmten Amplitude getroffen werden, welche auf diese Massentheilchen einwirkt.

13. *Die Erscheinungen der Absorption werden am leichtesten durch diejenigen Elemente hervorgebracht, welche eine complicirtere Beschaffenheit des Spectrums durch Verbreiterung der Linien bewirken.*

Dies ist eine andere, mit der vorigen in Beziehung stehende sehr bemerkenswerthe Thatsache. In der Mitte einer breiten hellen Linie beobachtet man eine feine dunkle Linie. Diese Erscheinung wird durch die Absorption des kühlern und dünnern äussern Dampfs bewirkt, welcher den innern wärmern Dampf umhüllt. Dies ist regelmässig bei denjenigen Metallen zu beobachten, welche breite Linien geben, während Eisen und ähnliche Metalle keine solche Umkehrung zeigen. Die wichtigste Thätigkeit des Forschers besteht nun darin, die einzelnen Erscheinungen untereinander in Verbindung zu bringen und den Zusammenhang derselben zu ermitteln. Es ist eine sehr bemerkenswerthe Thatsache, dass in allen bisjetzt von mir untersuchten Fällen das specifische Gewicht nicht nur die Frage entscheidet, ob eine Substanz ein Spectrum besitzt, welches durch Verbreiterung oder Vermehrung der Linien complicirter wird, sondern auch, ob eine solche Umkehrung leicht hervorzubringen ist. Eisen besitzt ein hohes specifisches Gewicht. Aluminium, Magnesium, Natrium und andere Metalle von niedrigem specifischem Gewicht zeigen die Verbreiterung der Linien und leichten Umkehrbarkeit.

14. *In denjenigen Fällen, in welchen das Licht von breiten Linien durch den äussern kühlern Dampf absorbirt wird, werden die kürzern Linien nicht umgekehrt.*

So wird z. B. in dem Spectrum des Leuchtgases, wenn es durch einen Inductionsstrom zersetzt wird, nur die Wasserstofflinie *F* umgekehrt. In dem durch den

elektrischen Flammenbogen erzeugten Natriumspectrum wird nur die Linie *D* umgekehrt; alle übrigen bleiben hell.

In dem auf dieselbe Weise erzeugten Spectrum des Mangandampfs erleiden von den vier nebeneinanderliegenden Linien im Violett nur drei eine Absorption, wie aus Tafel VI zu ersehen ist.

Aus diesem Versuch mit dem Mangandampf ergibt sich, dass die molekulare Bewegung des Mangandampfs in der Sonne viel bedeutender ist als in den kältern Theilen des elektrischen Flammenbogens, wie aus der Vergleichung des Manganspectrums mit dem Sonnenspectrum, welches sich auf Tafel VI neben dem Manganspectrum befindet, hervorgeht.

In dem Sonnenspectrum sind sämtliche vier Linien umgekehrt. Die molekulare Bewegung in der Sonne ist daher grösser als in dem Kern des elektrischen Flammenbogens.

15. *Ein zusammengesetztes Massentheilchen, d. h. ein solches, welches aus zwei verschiedenen Elementen besteht, hat genau wie ein Element eine ihm zukommende besondere Schwingung.*

So hat, um mit einem bestimmten Beispiel zu beginnen, jedes Strontiumsalz sein besonderes Spectrum. Ein anderes Beispiel bietet N_2O_4 . Das Absorptionsspectrum dieses Gases oder vielmehr Gasgemenges ist sehr complicirt. Die Theilchen desselben besitzen eine ganz bestimmte ihnen eigenthümliche Schwingung. Es ist nun leicht, dieses Gas durch Dissociation aus N_2O_4 in NO_2 zu verwandeln. Sofort erhalten wir ein neues Spectrum. Diese Thatsachen, deren Zahl leicht vermehrt werden könnte, liefern also den Beweis, dass ein zusammengesetztes Massentheilchen ein vollkommen bestimmtes physisches Ding ist, welches seine eigenen Schwingungen, Rotationen und freie Weglängen besitzt. Es existirt durchaus keine erkennbare Beziehung zwischen den Schwingungen eines zusammengesetzten Massentheilchens und den Schwingungen derjenigen Theilchen, welche dasselbe zusammensetzen.

PL. VI

Mn. & ☉

16. *Bei den Metalloiden und den gasförmigen Verbindungen derselben hängt das Spectrum wesentlich von der Dicke der Schicht ab, welche das Licht durchdringt, und oft, wenn auch nicht immer, wächst die Absorption gegen das rothe Ende in dem Maasse, wie die Dicke der Schicht zunimmt.*

Dies ist ein Punkt von der grössten theoretischen Wichtigkeit, über den wir indess noch wenig wissen. In dem angeführten Buche von Maxwell findet sich die Angabe, dass uns eine dicke Schicht eines Metaldampfs dasselbe Spectrum gibt wie eine dünne Schicht von grösserer Dichtigkeit. Dieser Satz bedarf indess nach meiner Ansicht einer bedeutenden Einschränkung. Die Dimensionen der Gasschichten, die wir mit dem Spectroskop untersuchen, schwanken innerhalb ungeheurer Grenzen.

Füllen wir ein Glasrohr, welches etwa zwei Millimeter Durchmesser im Lichten hat, mit Wasserstoff und bringen denselben zum Glühen, so bemerken wir bei einem bestimmten Druck eine Linie von bestimmter Breite. Beobachten wir dagegen die Corona während einer Sonnenfinsterniss, so durchdringen wir eine Gasschicht von zehn- bis zwölfhunderttausend Kilometern. Die Breite der Linie ist in beiden Fällen dieselbe. Natriumschichten von verschiedener Dicke liefern dasselbe Spectrum, vorausgesetzt, dass sich weiter nichts ändert als die Dicke. Dagegen scheint der Satz für die Metalloide eine gewisse Gültigkeit zu haben. Eine Frage, die ein besonderes Interesse bietet, ist die, ob in der äussern Sonnenatmosphäre Chlor vorhanden ist oder nicht. Ich habe diese Frage durch Vergleichung des Absorptionsspectrums des Chlors mit dem Sonnenspectrum zu entscheiden versucht. Ich experimentirte mit Chlorschichten von verschiedener Dicke, wobei deutliche Verschiedenheiten der einzelnen Spectra wahrgenommen wurden. Es scheint, dass bei den Metalloiden die Absorption einer dünnen Schicht oft in dem violetten Theil des Spectrums stattfindet.

Können nun diese Ergebnisse in Einklang gebracht werden? Ich muss bekennen, dass wir es hier mit einem Gegenstand zu thun haben, der bedeutende Schwierigkeiten bietet und dass es bei dem heutigen Stand unserer Kenntnisse vielleicht das Beste wäre, gar keinen Versuch zu machen, die Erscheinungen zu erklären. Trotzdem will ich unter allem Vorbehalt die Frage anregen, ob nicht vielleicht die folgende Erklärung einige Wahrscheinlichkeit für sich haben dürfte. Bei metallischen Dämpfen werden die Linien, die nicht durch Zunahme der Dicke der Schicht, aber durch Zunahme der Dichtigkeit breiter werden, jedenfalls dunkler. Es sind aber nicht alle Linien, sondern im allgemeinen nur die längsten sichtbar. Nehmen wir nun an, dass das säulenstreifige Spectrum der Metalloide, selbst wenn es scheinbar continuirlich ist, aus Linien besteht*, so wird ein Dunklerwerden dieser Linien durch Zunahme der Dicke der Schicht nicht nur die bereits sichtbaren Linien betreffen, sondern es werden auf diese Weise gewisse andere Linien erst diejenige Breite erreichen, durch welche sie sichtbar werden. Man kann sich vorstellen, wie auf diese Weise eine bedeutende Verschiedenheit der Spectra dicker und dünner Dampfschichten erzeugt werden kann. Es ist jedenfalls einleuchtend, dass zwischen den stärkern und schwächern Linien in den säulenstreifigen Spectren der Metalloide ein viel engerer Zusammenhang stattfindet als zwischen den langen und kurzen Linien in den Spectren der Metalle.

17. *Bei Zusammenstößen verschiedener Moleküle werden die Schwingungen beider geschwächt.*

Wie wir in 8. sahen, nimmt die complicirte Beschaffenheit des Spectrums einer Substanz mit der Anzahl der Zusammenstöße zwischen gleichartigen Molekülen zu. Der Zusammenstoß zwischen gleichartigen Molekülen scheint denselben gewissermaassen neue Energie der-

* Thalén's Untersuchungen über das Iodspectrum sprechen sehr für diese Annahme.

jenigen Art mitzutheilen, welche das Spectrum erzeugt. Daher wächst die Helligkeit desselben bei zunehmender Dichtigkeit und zunehmender Temperatur. Wenn wir es dagegen mit einem Gemenge ungleichartiger Moleküle zu thun haben, so lehrt uns der Versuch, dass durch den Zusammenstoss solcher Moleküle jedes von ihnen einen Theil seiner Energie einbüsst. Wenn wir die Abhängigkeit des Spectrums von einem der Bestandtheile beobachten, so finden wir, dass die Helligkeit des Spectrums desselben abnimmt, wenn ein anderer Bestandtheil zunimmt.

18. *Wenn wir annehmen, dass sowol die „Fundamentallinien“, als die kurzen Linien eines Metallspectrums durch Zusammenstösse erzeugt werden, und wenn wir bedenken, dass sich durch Zunahme der Dicke der Schicht weder die Menge noch die Art der Zusammenstösse nothwendig ändert, so liegt kein theoretischer Grund für die Annahme vor, dass eine grosse „Dicke“ der Schicht eines Gases oder eines Dampfs die Strahlung und mithin auch die Absorption in einer solchen Weise beeinflusst, dass das Spectrum bei zunehmender Dicke immer mehr den Charakter eines continuirlichen Spectrums annimmt.*

Zur Bestätigung dieses Satzes habe ich die folgenden Versuche angestellt:

a. Ein eisernes Rohr von ungefähr 1,5 Meter Länge wurde mit trockenem Wasserstoff angefüllt. In das Innere des Rohrs wurden Natriumstückchen gebracht und in angemessenen Zwischenräumen nebeneinander gelegt. Dieses Rohr wurde dann, nachdem die Enden desselben durch Glasplatten verschlossen waren, in zwei nebeneinander gestellten Gasöfen erhitzt. Auf der einen Seite des Rohrs wurde die elektrische Lampe, auf der andern das Spectroskop aufgestellt.

Als das Rohr rothglühend und, so gut als möglich, vollständig mit Natriumdampf gefüllt war, während ein langsamer Strom von Wasserstoff hindurchstrich, erschien die Linie *D* absorbirt. Dieselbe war nicht dicker als wie man dieselbe unter ähnlichen Be-

dingungen vermittels eines Reagensgläschens beobachtet und bei weitem dünner, als wenn man die Absorptionslinie mit einem Reagensgläschen bei nur wenig gesteigerter Dichtigkeit beobachtet.

Nur die längste „Fundamentallinie“ war also absorbirt.

Die Linie war dicker als die Linie *D* im Sonnenspectrum, in welchem alle kurzen Linien umgekehrt sind.

b. Da eine Steigerung der Temperatur oder der Dichtigkeit des Natriumdampfs mit Schwierigkeiten verbunden war, so stellte ich weitere Versuche mit Ioddampf an.

Ich habe bereits auf die durch das Spectroskop angezeigte Verschiedenheit zwischen der Art der Schwingungen des „Atoms“ eines Metalls und des „Subatoms“ eines Metalloids hingewiesen, wobei ich unter Subatom diejenige Masse verstehe, welche uns ein säulenstreifiges Spectrum gibt und das continuirliche Spectrum in einer ihm eigenthümlichen Weise erzeugt. So erscheinen beim Iod die durch Steigerung der Dichtigkeit erzeugten kurzen Linien des Atomspectrums in Gestalt eines Systems von deutlichen Säulenstreifen und breiten Banden, die zu dem einfachsten ausgezeichnet „rhythmischen“ Spectrum, in dem die Zwischenräume von Blau gegen Roth zunehmen und die Säulenstreifen kaum zu bemerken sind, hinzutreten.

Die Säulenstreifen und Banden lassen sich durch eine geringe Steigerung der Dichtigkeit mittels einer gelinden Erwärmung hervorrufen. Wird die Dichtigkeit noch mehr gesteigert, so wird die Absorption durch das ganze sichtbare Spectrum hindurch continuirlich.

Die Absorption einer Schicht Ioddampf von 1,7 Meter Dicke bei einer Temperatur von 16° C. gab keine Spuren von Banden, während die Säulenstreifen so schwach waren, dass man sie kaum bemerken konnte.

19. *Bestimmte Arten von Massentheilchen üben eine Wirkung auf bestimmte Theile des Spectrums aus.*

Wenn wir im Stande wären, alle in der Sonne vorhandenen Metalle zu mischen, eine Verbindung herzustellen,

welche alle diese Metalle enthält, und wenn wir diese Verbindung in den untern Pol einer elektrischen Lampe brächten und das Spectrum photographirten, so würden wir finden, dass die Mehrzahl der Linien im violetten Ende und nur wenige im rothen Ende des Spectrums auftreten. Dies ist der Grund, weshalb das Spectrum der Sonne, welche so zahlreiche Metalle enthält, so complicirt im Violett ist. Bringen wir ein Metall mit einem Metalloid in Verbindung, so finden wir in vielen Fällen, dass die Schwingungen in dem rothen Ende des Spectrums liegen. Auch finden wir, dass ein gewisser Zusammenhang zwischen dem Atomgewicht der Metalloide und der Stelle des Spectrums besteht, an welcher unter gleichen Bedingungen die Linien erscheinen.

In der That beobachten wir bei einfachen Massentheilchen kurze Wellen, bei zusammengesetzten Theilchen lange Wellen. Dies ist noch nicht alles. In einigen Fällen finden wir die beiden Enden des Spectrums, in andern nur das Ende der stärksten Brechbarkeit durch continuirliche Absorption vernichtet. Dies ist so oft in den Absorptionsspectren der Fall, dass man vermuthen muss, dass die Erscheinung in einer bestimmten Beschaffenheit der Massentheilchen ihren Grund hat.

20. *Einige Schwingungen stehen in einem sehr engen Zusammenhang mit andern, wie sich aus der Thatsache ergibt, dass sich gewisse Liniengruppen in verschiedenen Theilen des Spectrums wiederholen.*

Es ist dieses eine Beobachtung, die nach meiner Ansicht in der Zukunft für die mathematische Physik von der grössten Wichtigkeit werden kann.

Ich will mich darauf beschränken, einige zuerst von Mascart bemerkte ausgezeichnete Beispiele anzuführen. Wir werden bemerken, dass unter solchen sich wiederholenden Liniengruppen sich jedesmal die längste Linie befindet.

Im Natriumspectrum ist die längste Linie, nämlich die Linie *D*, doppelt. Alle andern Linien des Spectrums sind ebenfalls doppelt.

Im Magnesiumspectrum ist die längste Linie eine dreifache. Ebenso findet sich noch eine dreifache Linie im Violett.

Im Spectrum des Mangans findet dasselbe statt, wenn auch nicht so deutlich, wie bei den Theilchen des Natriums und Magnesiums, die, wie ich aus andern Gründen vermuthete, den einfachsten Bau besitzen.

21. *Unsere Kenntniss der Massentheilchen wird solange unvollkommen sein, als wir nicht die Schwingung vom äussersten (unsichtbaren) rothen bis zum äussersten (unsichtbaren) violetten Ende des Spectrums kennen.*

Inzwischen gelingt es vielleicht, durch Schlussfolgerungen aus den vorliegenden Beobachtungen, namentlich auch aus der Lage der Absorptionsspectra der Metalloide bei niedriger Temperatur einiges Licht über die Durchsichtigkeit und Undurchsichtigkeit fester Substanzen zu verbreiten.

Ich glaube nicht zu viel zu behaupten, wenn ich sage, dass es bei einigen dem Anschein nach durchsichtigen Gasen und Dämpfen ziemlich sicher ist, dass bei einigen die Absorption im Ultraroth, bei andern im Ultraviolett liegt. Ausserdem ist es kaum zu bezweifeln, dass diese Absorption continuirlich oder säulenstreifig ist, mit andern Worten, die Gase sind „atomistisch“ im Sinne des Chemikers nur unter Einwirkung der Elektricität oder, wie beim Wasserstoff, bei hoher Temperatur.

FÜNFTES KAPITEL.

Lange und kurze Linien.

§. 1. *Aeltere Beobachtungen.*

Von der Zeit, in welcher Wheatstone seine ersten Versuche anstellte und (1835) den Nachweis lieferte, dass ein Funkenspectrum, wenn die Pole aus verschiedenen Metallen bestehen, die Linien beider Metalle zeigt, bis zu den Untersuchungen von Stokes, Miller und Robinson im Jahre 1862 vermissen wir in allen Arbeiten genauere Angaben über die Vertheilung des Lichts in der Breite des Spectrums.

Lässt man den Funken zwischen zwei Polen in Luft überspringen, so erhält man im allgemeinen ein Spectrum, welches von den Linien beider Metaldämpfe und den Luftlinien gleichzeitig durchzogen wird.

Unter gewissen Bedingungen ist dies nicht der Fall. So bemerkt Stokes*, der den elektrischen Funken ohne Anwendung eines Spalts benutzte, dass sich die Metalllinien von den Luftlinien dadurch unterscheiden, dass sie sich nur in unmittelbarer Nähe der Polspitzen bilden, während die Luftlinien durch das ganze Spectrum hindurch entstehen.

Miller**, der einen in unmittelbarer Nähe des Funkens aufgestellten Spalt benutzte, bemerkt bei Be-

* Philos. Transactions (1862), CLII, 603.

** A. a. O., S. 877.

sprechung seiner Spectralphotographien, dass die Enden der Linien ein viel stärkeres Bild hinterlassen als die mittlern Theile derselben. Er nennt die Enden dieser unterbrochenen Linien „Flecken“ (*dots*).

Aus nebenstehender Fig. 43, der Copie einer von ihm erhaltenen Photographie des Cadmiumspectrums, geht das Bezeichnende dieses Ausdrucks hervor.

Ueber denselben Gegenstand schreibt Robinson*: „An demjenigen Ende des Spectrums, welches dem negativen Pol entspricht (in viel geringerem Grade auch am positiven Pol), erscheinen helle Linien, . . . die indess kurz sind.“

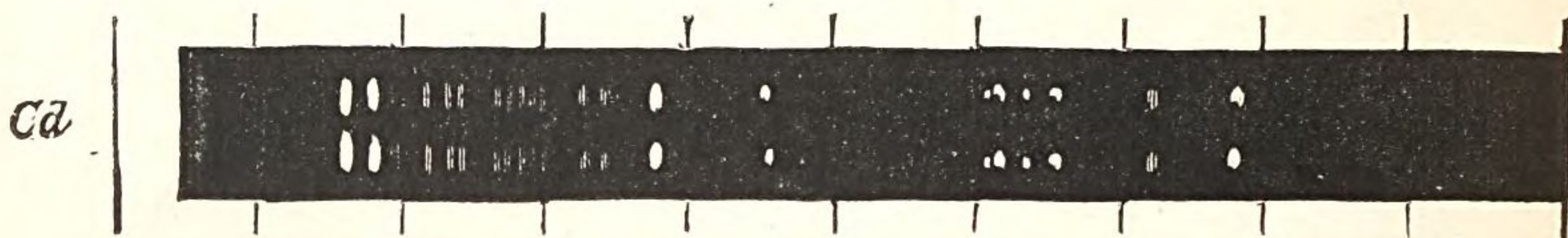


Fig. 43. Copie von Miller's Photographie des Cadmiumspectrums.

Auch Thalén bemerkte, trotzdem er sich nicht der von mir und Frankland benutzten und im zweiten Kapitel näher besprochenen Methode bediente, diese Erscheinung bis zu einem gewissen Grade, ohne Zweifel infolge der Länge des von ihm benutzten Collimators.

Er sagt über diesen Punkt**: „Es gibt auch helle Linien, die man nur ausnahmsweise beobachtet, z. B. wenn die Menge der angewandten Substanz sehr gross oder das Glühen derselben sehr lebhaft ist. Diese Strahlen, die in der Regel am Rande des Spectrums in Form von Nadelspitzen auftreten, selbst wenn die übrigen Linien des Metalls das ganze Spectrum durchziehen, sind auf der Tafel durch sehr kurze Linien angedeutet.“

* A. a. O., S. 947.

** Mémoire sur la détermination des longueurs d'onde des raies métalliques, p. 12, in den „Nova Acta Regiae Societatis Scientiarum Upsaliensis“, Ser. III, Bd. VI (Upsala 1868).

§. 2. *Lange und kurze Linien im Sonnenspectrum.*

Als ich meine spectroscopischen Untersuchungen begann, war mir diese Literatur unbekannt, und ich erhielt die erste Kenntniss dieser Erscheinungen durch meine eigenen Sonnenbeobachtungen. Im Jahre 1869 benutzte ich alle meine freie Zeit zu Beobachtungen der Sonnenchromosphäre und fand alsbald, dass zuweilen Dämpfe von Magnesium, Eisen und andern Metallen in dieselbe eindringen.*

Am 14. März 1869 beobachtete ich, dass, wenn Magnesiumdampf in die Chromosphäre eindringt, keineswegs sämtliche Linien dieses Metalls dieselbe Höhe erreichten.

So waren von der mit b bezeichneten Liniengruppe b^1 und b^2 nahezu gleich, b^4 dagegen viel kürzer.

Bald nachher fand ich, dass das Spectrum der Chromosphäre, wenn sich Eisendampf in derselben befindet, nur wenige von den 450 von Ångström beobachteten Linien dieses Metalls zeigt.

Unter der Annahme**, dass die absorbirende Schicht, welche die Fraunhofer'schen Linien erzeugt, unter der Chromosphäre liegt, konnten Frankland und ich diese Erscheinung leicht dadurch erklären, dass, wie beim Wasserstoff und Stickstoff, das Spectrum da einfacher wird, wo die Dichtigkeit und die Temperatur geringer ist.

Um die Richtigkeit dieser Annahme durch einen Versuch zu bestätigen, bedienten wir uns eines Funkens zwischen zwei Magnesiumpolen, die so weit voneinander entfernt waren, dass sich das Magnesiumspectrum nicht von einem Pol zum andern ausdehnte, sondern nur bis zu einer geringen, durch die Hülle des Magnesiumdampfs bestimmten Entfernung von jedem Pol sichtbar war.

* Proc. Roy. Soc., XVII, 351.

** A. a. O., S. 290.

Dann beobachteten wir sorgfältig das Verschwinden der Linien *b* und fanden, dass sie sich genau so verhalten wie in der Sonne. Von den drei Linien war diejenige mit dem stärksten Brechungsvermögen die kürzeste.* Wäre der Versuch in Wasserstoff statt in Luft angestellt worden, so hätten wir eine höchst vollkommene Nachahmung der durch das Fernrohr wahrgenommenen Erscheinungen gehabt, denn der Magnesiumdampf entfernte sich um so mehr von den Polen, je höher die Temperatur des Funkens stieg.

Die beiden nach Photographien angefertigten Figuren 44 und 45 zeigen im einzelnen die Erscheinungen, welche man beobachtet, wenn man den Funken einer Leydener Flasche zwischen Polen von Zink und Cadmium oder zwischen Cadmium und Blei überspringen lässt und das Bild desselben auf den Spalt wirft. Man wird bemerken, dass bei diesen Metалldämpfen (bei allen andern, die ich beobachtet habe, habe ich dasselbe gefunden) die Linien gerade so wie in dem erwähnten Fall der dreifachen Magnesiumlinie *b*, von ungleicher Länge sind, sowie dass bei der neuen Beobachtungsmethode in dem Spectrum die Linien der beiden Metalle und die der Luft deutlich getrennt erscheinen, indem die Luftlinien das ganze Spectrum durchziehen, während die Metalllinien nur bis zu einem gewissen Abstand von den Polen in das Spectrum hineinreichen und sich zum Theil überlagern.

Viele dieser Spectra wurden beobachtet, während die Metalle in Röhren eingeschlossen und einem nach und nach abnehmenden Drucke ausgesetzt waren. In allen diesen Versuchen zeigte es sich, dass die längsten Linien auch am längsten sichtbar bleiben.

Bei den Versuchen mit Zink waren die Erscheinungen

* Dieselben Erscheinungen zeigten sich, wenn man den Funken zwischen Magnesiumpolen in einer mit Luft gefüllten Geissler'schen Röhre beobachtete, in welcher der Druck nach und nach vermindert wurde.

besonders deutlich, weshalb ich etwas Genaueres über dieselben anführen will. Wenn das mit einer Sprengel'-

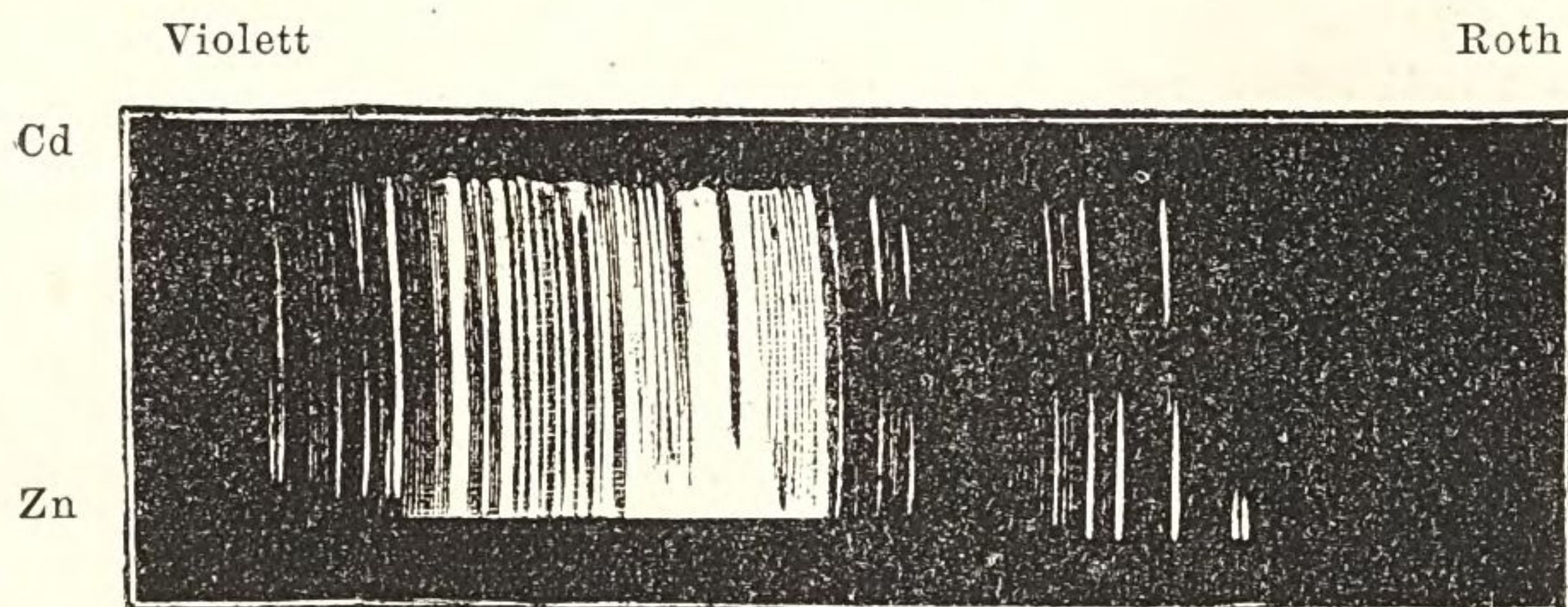


Fig. 44. Copie einer Photographie des Funkenspectrums zwischen Polen von Zink und Cadmium.

schen Pumpe in Verbindung stehende Manometer auf 35—40 Millimeter stand, war das Spectrum an der

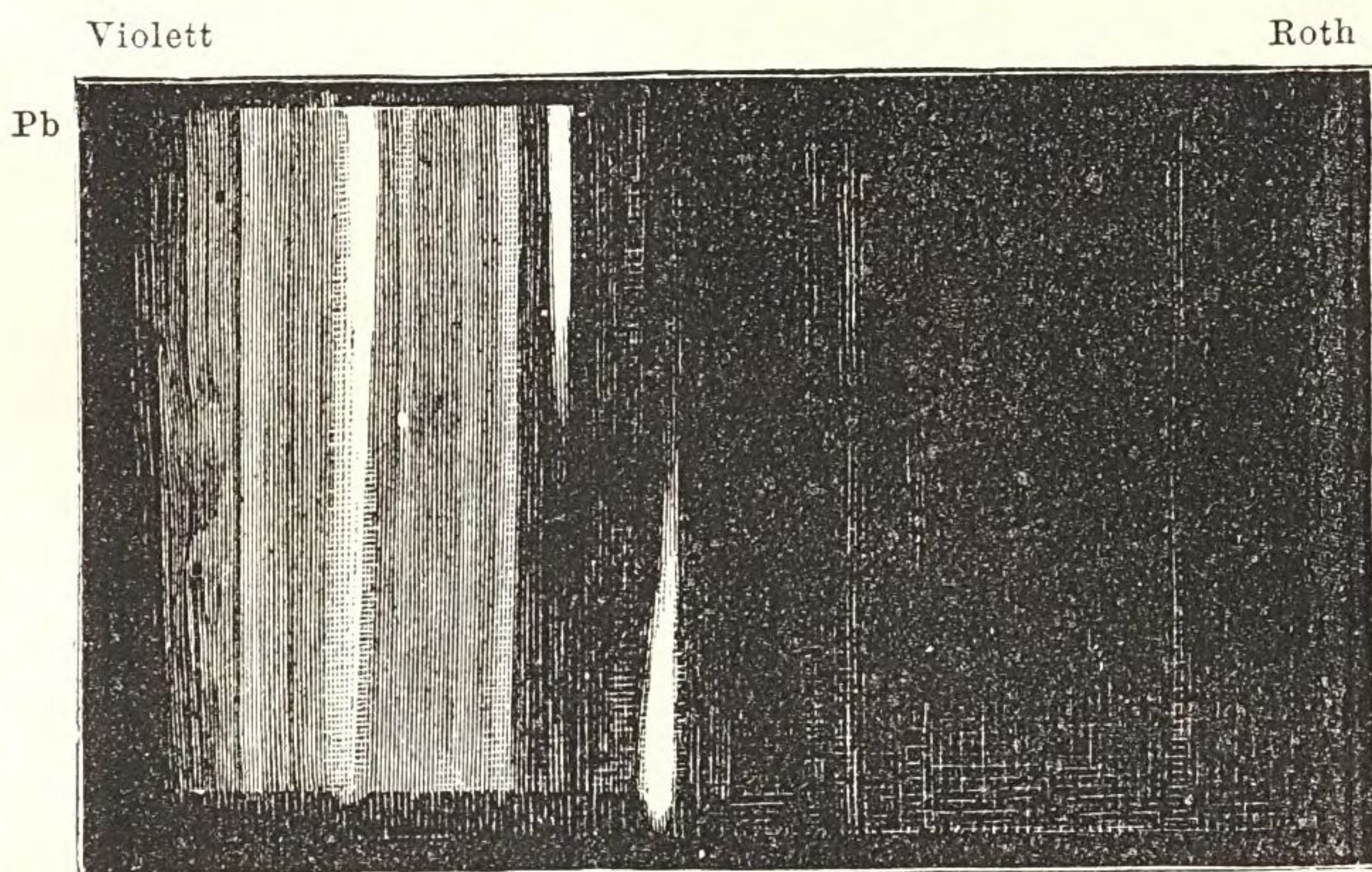


Fig. 45. Funkenspectrum zwischen Polen von Cadmium und Blei.

beobachteten Stelle normal, mit Ausnahme der Linien bei 4924 und 4911*, deren Breite ganz bedeutend ge-

* Nach der von Watts angegebenen Scala, deren sich Thalén bedient.

ringer war, als sie unter gewöhnlichem Druck zu sein pflegt. Wurde nun die Pumpe in Bewegung gesetzt, so nahm die Länge dieser Linien ausserordentlich schnell ab, ebenso die Länge der Linien bei 4679, während die Linien bei 4810 und 4721 fast unverändert blieben. Schliesslich verschwanden die Linien bei 4924 und 4911, auch die bei 4679, und erschienen nur dann und wann als Flecken in der Nähe der Pole. Bei den Linien 4810 und 4721 veränderte sich die Länge nur unbedeutend, wenn auch die Helligkeit derselben erheblich abnahm. Dieser Versuch wurde viermal wiederholt und jedesmal verschwanden die Linien ziemlich genau bei demselben Druck. Im ersten Versuch zeigte das Manometer beim Verschwinden der beiden Linien 4924 und 4911 einen Druck von 30, im zweiten und dritten von 29, im vierten von 31 Millimeter.

Bei einer Erhöhung des Drucks auf nur 34 Millimeter kamen die verschwundenen Linien wieder zum Vorschein.

Es zeigte sich alsbald, dass das durch den elektrischen Funken erzeugte Licht von der Menge des Dampfs abhängig ist, welcher zwischen den beiden Polen vorhanden ist, und dass, wenn die Pole aus demselben Metall oder aus zwei gleich flüchtigen Metallen bestehen, die Brücke aus gleichen oder wenigstens nahezu gleichen Dampfmengen um jeden der beiden Pole gebildet wird. Daher kann, vorausgesetzt, dass der von den verschiedenen Polen ausgehende Dampf sich nicht vermischt, die längste Linie nur halb so lang sein als die Entfernung der beiden Pole.

Bestehen dagegen die beiden Pole aus Metallen von ungleicher Flüchtigkeit, so erscheint die Brücke ganz aus dem Dampf des flüchtigeren Metalls gebildet. Daher kann in diesem Falle die längste Linie fast oder vollständig den ganzen Zwischenraum zwischen beiden Polen einnehmen.

Für diese Versuche wurden Pole aus Aluminium benutzt, da alle Linien dieses Metalls in den hellsten

Theilen des Spectrums sehr kurz waren und der Dampf, welcher über die Region der kurzen Linien hinausging, nur zwei zwischen H_1 und H_2 liegende Linien gab.

Bei diesen Beobachtungen wurden zahlreiche Erscheinungen wahrgenommen, die werth sind, genauer untersucht zu werden. Wurde z. B. das Kupferspectrum unter Anwendung eines dem Kupferpol gegenüberstehenden Graphitpols untersucht, so machte sich der Einfluss des erstern durch eine bemerkenswerthe Verkürzung der Kupferlinien bemerklich. Selbst wenn sich die Pole fast berührten, so durchzogen die Kupferlinien nicht das ganze Spectrum, sondern erschienen nur in unmittelbarer Nähe des Kupferpols.

§. 3. Weitere Beobachtungen.

Nachdem es sich gezeigt hatte, dass der reinste und dichteste Dampf allein die grösste Anzahl von Linien gab, oder mit andern Worten, dass ein wirklich vollständiges Spectrum eines Elements nur von dem Metallpol selbst erhalten wird, an welchem der Dampf am reinsten und dichtesten ist, war es von Interesse, das Spectrum von Verbindungen eines Metalls mit einem nichtmetallischen Element zu untersuchen.

Es wurde zu diesem Zweck eine Reihe von Versuchen ausgeführt, durch welche die Spectra der reinen Metalle mit den von ihren Chlorverbindungen erzeugten verglichen wurden.* Aus sämtlichen Versuchen ergab sich, dass der Unterschied zwischen dem Spectrum des Metalls und dem Spectrum seines Chlorids darin besteht, dass bei gleichem Zustand des Funkens

* Die unter Anwendung der Flasche untersuchten Verbindungen waren: $LiCl$, $NaCl$, $MgCl_2$, $ZnCl_2$, $SrCl_2$, $CdCl_2$, $BaCl_2$, $PbCl_2$, Al_2Cl_6 . Das Nähere findet der Leser in den Phil. Trans.

die kurzen Linien des Metalls in dem Spectrum des Chlorids verschwinden, während die Breite der Luftlinien unverändert bleibt.

Wurde die Beschaffenheit des Funkens durch Ausschalten der Leydener Flasche verändert, so zeigte sich die Verschiedenheit der Spectra am deutlichsten, indem immer nur die allerlängsten Linien des Metallspectrums übrigblieben.

Bei den Elementen von geringem Atomgewicht, in deren Chloriden ein Atom Chlor mit einem Atom des Metalls verbunden ist, ist die Anzahl der im Spectrum des Chlorids übrigbleibenden Linien gross, sie beträgt z. B. beim Lithium über 60 und beim Natrium 40 Procent. Bei den Elementen mit höherm Atomgewicht, deren Atom mit zwei Chloratomen verbunden ist, ist dagegen die Zahl der übrigbleibenden Linien viel geringer. Beim Barium z. B. beträgt dieselbe 8 und beim Blei nur 3 Procent der Linien, die das Spectrum des reinen Metalls zeigt.

Diese interessanten Ergebnisse veranlassten mich, die Untersuchung auf die in verschiedenen Salzen des Metalls sichtbaren langen und kurzen Linien auszudehnen. Das Nähere über diese Untersuchungen wird in den nächsten Kapiteln mitgetheilt werden.

Da durch die erwähnten Versuche der Beweis geliefert wurde, dass ein mit dem Metall chemisch verbundenes nichtmetallisches Element einen Einfluss auf das Spectrum des Metalls ausübt, so erschien es wünschenswerth, auch das Verhalten eines mechanischen Gemisches in dieser Hinsicht zu untersuchen.

Es wurden daher Versuche mit solchen Gemengen angestellt. Wie uns die Ergebnisse dieser Untersuchung für die Zukunft in den Stand setzen können, eine quantitative Spectralanalyse auszuführen, wird im Kapitel VIII näher angeführt werden.

Man muss sich erinnern, dass wir in der Sonnenatmosphäre das grossartigste Beispiel eines mechanischen Gemenges haben, welches wir uns vorstellen

können. Daher ist es wünschenswerth, dass die im Sonnenspectrum umgekehrten Linien von diesem Gesichtspunkt aus näher untersucht werden.

Im Kapitel X werde ich den Nachweis zu führen suchen, wie unsere Kenntniss der Sonne durch diese Untersuchungen erweitert worden ist.

SECHSTES KAPITEL.

Die Spectra der Salze.

Das Ergebniss der im vorhergehenden Kapitel genauer angeführten Versuche lässt sich in folgenden Sätzen zusammenfassen:

1. Wenn der Dampf eines Metalls mit andern Dämpfen oder Gasen vermischt oder einem verminderten Druck ausgesetzt wird, so wird das Spectrum desselben einfacher, indem die kürzesten Linien verschwinden und zahlreiche andere Linien dünner werden.

2. Bei den chemischen Verbindungen der Metalle mit Metalloiden, d. h. bei den Salzen der Metalle (ich benutzte die Chloride), bleiben nur die längsten Linien des reinen Metallspectrums übrig. Die Anzahl der übrigbleibenden Linien ist bei den Elementen mit niedrigem Atomgewicht gross, dagegen klein bei den Elementen mit höherm Atomgewicht, bei denen die atombindende Kraft doppelt so gross als beim Wasserstoff ist.

In diesem Kapitel will ich eine Reihe von Versuchen besprechen, die im Anschluss an diese vorläufigen Ergebnisse angestellt wurden. Es ist sozusagen ein Schaltkapitel, welches die Einleitung zu dem folgenden bildet.

Zu diesen Versuchen wurden einige Reihen von Salzen ausgewählt, in denen sowol die Metalle der verschiedenen Reihen, als auch die in jeder Reihe mit dem Metall verbundenen Metalloide ein möglichst verschiedenes Atomgewicht besitzen.

Von diesem Gesichtspunkte aus wurden die Fluoride, Chloride, Bromide und Iodide von Blei, Strontium, Barium, Magnesium, Natrium und Lithium untersucht.

Zu diesen Versuchen wurde die in Kapitel II angeführte Methode, sowie der elektrische Funke in Luft ohne Leydener Flasche benutzt.

§. 1. *Blei.*

Aus den Versuchen mit Blei ergab sich, dass das Spectrum des Metalls am reinsten beim Iodid und am complicirtesten beim Fluorid war.*

Das Verhältniss der Gewichte vom Blei und dem mit ihm verbundenen Metalloid ist in den einzelnen Verbindungen das folgende:

$$Pb F_2, \quad Pb : F = 1,0 : 0,18$$

$$Pb Cl_2, \quad Pb : Cl = 1,0 : 0,34$$

$$Pb Br_2, \quad Pb : Br = 1,0 : 0,77$$

$$Pb J_2, \quad Pb : J = 1,0 : 1,22$$

* Ich lasse hier das Nähere dieser Versuche folgen:

Bleifluorid, $Pb F_2$. — Es wurden elf Linien beobachtet, die nach Thalén folgende Wellenlängen haben: 4167,5, 4246,0, 4386,5, 5163,0, 5372,0, 5523,5, 5546,0, 5607,0, 6040,0, 6059,0 und 6452,0.

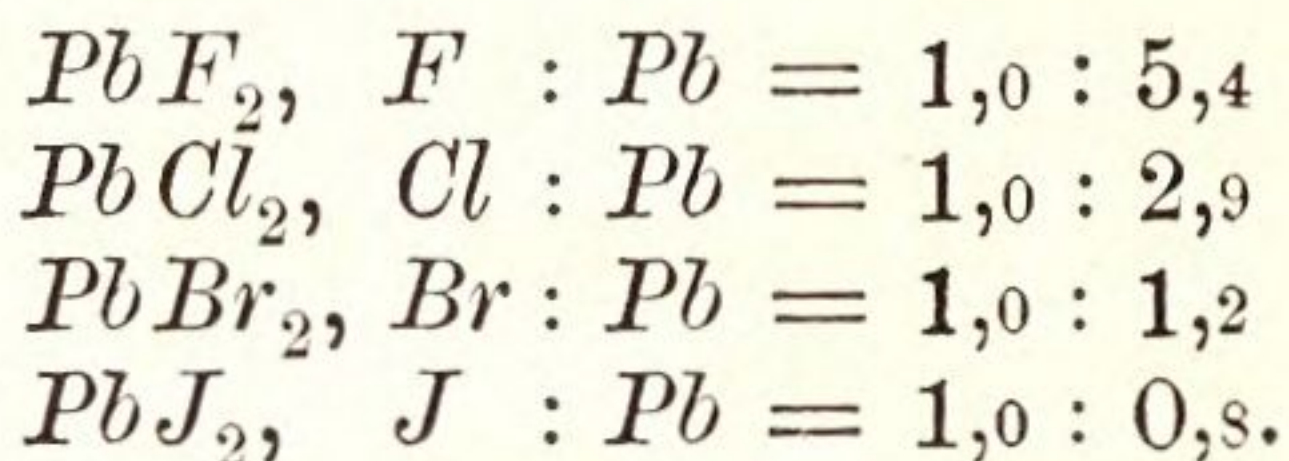
Von diesen Linien sind 4246,0 und 4386,5 nur kurze Zeit beim Beginn des Funkens sichtbar; 6452,0 ist sehr schwach und 5523,5 sehr kurz, sodass das Spectrum aus nur sieben deutlich erkennbaren Linien besteht.

Bleichlorid, $Pb Cl_2$. — In dem Spectrum dieser Verbindung sind nur noch neun Linien zu bemerken, nämlich 4167,5, 5163,0, 5372,0, 5523,5, 5546,0, 5607,0, 6040,0, 6059,0 und 6452,0; 5523,5 ist sehr kurz, 6452,0 etwas heller als im Fluorid.

Bleibromid, $Pb Br_2$. — 4167,5 in unverändertem Glanz, 5163,0, 5372,0, 5546,0 und 5607,0 noch vorhanden; 5523,5 noch eben als Fleck wahrnehmbar, dagegen 6040,0, 6059,0 und 6452,0 sind ganz verschwunden. Das Spectrum besteht also nur noch aus fünf Linien.

Bleiiodid, $Pb J_2$. — 4167,5 ist wenig oder gar nicht verändert, auch 5163,0, 5372,0, 5607,0 sind noch vorhanden; 5546,0 und Spuren von 5523,5 sind nur noch als Flecken sichtbar.

oder, wenn die Menge des nichtmetallischen Elements zur Einheit genommen wird:



Aus diesen Tabellen geht also hervor, dass in dem Spectrum der Bleisalze die Länge und Anzahl der Linien zunimmt, je mehr das Blei dem Gewicht nach über das Metalloid vorherrscht, d. h. je geringer das Atomgewicht des letztern ist.

§. 2. *Barium und Strontium.*

Das nächste Metall, mit welchem experimentirt wurde, war Barium, ein Element, dessen Atomgewicht viel niedriger ist als das Atomgewicht des Bleis und den mittlern Werth der Atomgewichte der Elemente nicht erheblich übersteigt. Das Verhalten des Spectrums dieses Metalls zeigte wesentliche Abweichungen von dem Verhalten des Bleispectrums, obgleich auch es die beim Chlorid, Bromid und Iodid beobachteten Erscheinungen im wesentlichen zeigte. Wenn indess bei diesen Salzen die Erscheinungen auch von derselben Art waren, so traten sie doch weniger ausgeprägt hervor als beim Blei. So wurde z. B. bei allen drei Salzen dieselbe Anzahl von Linien beobachtet, und die Spectra des Chlorids und des Bromids zeigten keinen erheblichen Unterschied. Dagegen zeigte sich beim Iodid eine wesentliche Abweichung, wie sie das Verhalten des Bleis vermuthen liess, d. h. das Spectrum wurde lichtschwächer und zeigte eine Hinneigung zum Erlöschen.

Ganz abweichend vom entsprechenden Bleispectrum verhielt sich das Spectrum des Fluorids. Dasselbe war nicht complicirter, sondern im Gegentheil einfacher als die Spectra der drei andern Salze, indem es nur die

vier längsten Linien des Bariums einigermaassen deutlich zeigte. Selbst diese hatten eine ziemlich geringe Helligkeit.

Strontium verhielt sich ähnlich wie das Barium. Namentlich war das Verschwinden der Linien im Fluorid sehr auffallend.

Aus diesen Versuchen, sowie aus der Figur, auf welcher als ein Beispiel dieser Gruppe von Erscheinungen die Spectra der Strontiumsalze in Luft dargestellt sind, geht hervor, dass die für die Bleisalze aufgestellte allgemeine Regel für das Barium und Strontium keine Gültigkeit hat. Die Chloride, Bromide und Iodide dieser Metalle sind sämmtlich leicht zu verflüchtigen, während die Fluoride bei keiner von mir angewandten Temperatur flüchtig zu erhalten waren.

§. 3. *Magnesium.*

Bei den Versuchen mit Magnesium zeigten das Chlorid, Bromid und Iodid in ihrem Verhalten grössere Aehnlichkeit mit den sofort näher zu erwähnenden Alkalimetallen als mit dem Barium und Strontium, während das Fluorid der Einwirkung des elektrischen Funkens in demselben Grade widerstand, wie die Fluoride jener beiden Metalle. Diese drei Fluoride sind nicht flüchtig und in solchem Grade unschmelzbar, dass sie selbst bei anhaltender Wirkung des Funkens wenig oder gar nicht zusammensinterten. Bei dem Magnesiumfluorid war deutlich zu bemerken, dass es in Form einer feinen Staubwolke in den Funken eintrat. Wenn dann eines dieser Staubtheilchen im Funken verflüchtigt wurde, so zeigte das Spectrum Bruchstücke von beiderseits zugespitzten Linien.

Wurde Magnesiumfluorid in Form eines feinen Pulvers durch den Funken geblasen, so war namentlich die Linie *b* als eine Reihe von drei einzelnen zugespitzten Linien zu bemerken.

§. 4. *Natrium und Lithium.*

Dann wurden mit Natrium und Lithium, zwei Elementen von niedrigem Atomgewicht, Versuche angestellt.

Eines der Aluminiumbecherchen wurde mit etwas Fluornatrium angefüllt und demselben eine reine Aluminiumspitze gegenübergestellt.* Zu den ersten Versuchen wurde eine kleine Inductionsrolle und eine Leydener Flasche benutzt.

Wenn jetzt der Funke übersprang, war nur die Linie *D* zu bemerken, auch dann noch, nachdem der Funke verstärkt und das Aluminiumbecherchen mit frischem, angefeuchtetem Fluorid angefüllt worden war.

Dann wurde Natriumchlorid, nachdem dem Becherchen ein neuer Aluminiumpol gegenübergestellt worden war, in derselben Weise behandelt. *D* war sehr hell. Die Doppellinie im Roth blitzte ein einziges mal auf, erschien aber nicht wieder, trotzdem das Becherchen wiederholt mit frischem Salz angefüllt wurde.

Bei ähnlicher Behandlung des Natriumbromids erschien ebenfalls die Linie *D*, und zwar heller als in den vorhergehenden Versuchen. Die rothe Linie war nur einmal zu bemerken.

Bei der gleichen Behandlung der Natriumiodide endlich war nicht nur die Linie *D*, sondern auch die Doppellinie im Roth dauernd zu bemerken. Auch die Doppellinie im Grün erschien zuweilen. *D* war ausserordentlich glänzend und das Salz dampfte in Form eines dichten weissen Rauchs von den Polen ab.

Eine neue Reihe von Versuchen wurde mit einem stärkern Inductionsapparat in Verbindung mit einer Leydener Flasche von ungefähr 224 Quadratzoll belegter Oberfläche und einer kräftigen Batterie von fünf Grove'schen Elementen ausgeführt. Die Ergebnisse dieser

* Es wurden besondere Vorsichtsmaassregeln getroffen, damit die Pole in allen Versuchen denselben Abstand hatten.

Versuche waren mit den zuerst erhaltenen ziemlich übereinstimmend. Das Iodid und Bromid gaben alle Metalllinien des Natriums sehr hell, während das Chlorid die Linie *D* und die Doppellinie im Roth sehr deutlich zeigte, und zwar durchzog die letztere das ganze Spectrum. Auch das Fluorid gab sowol die Linie *D* als die rothe Doppellinie, allein die letztere durchzog nur drei Viertel des Spectrums und weder sie noch die Linie *D* war so hell wie im Spectrum des Chlorids. Aus weitem Beobachtungen ergab sich, dass unter gewissen Umständen auch in dem letztern Salz alle Linien erscheinen, dieselben waren indess so schwach, dass sie kaum sichtbar waren. Das abweichende Verhalten dieser Verbindungen im Vergleich zu den Bleisalzen fand seine volle Bestätigung.

Die Versuche mit Lithiumiodid und Lithiumchlorid lieferten folgendes Ergebniss:

Lithiumiodid gab die rothe Linie dieses Metalls (W. L. 6705) durch das ganze Spectrum, doch war sie sehr schwach. Die Linie im Orange (6102) war sehr glänzend und durchzog zwei Drittel des Spectrums. Die Linie im Blau endlich (4603), die überhaupt nur einmal beobachtet wurde, war sehr kurz und nebelig. Das Spectrum dieses Salzes unterscheidet sich nur wenig vom Spectrum des Metalls selbst, nur dass bei diesem die Linien in Roth und Orange das Spectrum vollkommen und die im Blau drei Viertel desselben durchziehen.*

Lithiumchlorid gab die Linie im Roth (6705,2) zwar schmal und schwach, aber durch das ganze Spectrum hindurch, die Linie im Orange dagegen sehr hell

* In dem Spectrum des Metalls zeigte sich auch eine Linie bei 4972. Dieselbe ist indess weder von Kirchhoff und Thalén, noch einem andern Beobachter, mit Ausnahme von Huggins, beobachtet worden. Dieselbe ist ohne Zweifel eine Linie des Caesiums, die durch eine Verunreinigung des Lithiums durch dieses Metall erzeugt wurde.

und ebenfalls durch das ganze Spectrum. Auch die blaue Linie war sichtbar, doch dehnte sie sich nicht durch das ganze Spectrum aus.

Wie aus dem Gesagten hervorgeht, nähert sich Lithium, das am wenigsten elektro-positive unter den Alkalimetallen, in seinem spectroskopischen Verhalten den Erdalkalimetallen Strontium und Barium, mit denen es auch in seinem chemischen Verhalten Aehnlichkeit hat. So verhält sich das Spectrum des Iodids zu dem des Chlorids, wie das Spectrum des Iodids zu dem des Chlorids des Bariums, nicht, wie man aus der Stelle, welche man gewöhnlich dem Lithium in der Reihe der Metalle anweist, hätte vermuthen können, wie das Spectrum des Iodids zum Spectrum des Chlorids des Natriums.

§. 5. *Verhalten der durch die Flamme und schwache Elektrizität erzeugten Spectra.*

Zur Vervollständigung dieser Untersuchungen wurden weitere Beobachtungen angestellt, um eine Vergleichung der durch einen schwachen elektrischen Funken und der durch eine Bunsen'sche Flamme erzeugten Spectra zu ermöglichen.

Einige Flammenspectra wurden namentlich zu dem Zwecke beobachtet*, um das Verhalten der langen und

* Folgendes waren die Ergebnisse dieser Versuche im einzelnen.

Barium. — Bariumiodid. — Dieses Salz gab, wie sich später herausstellte, das Spectrum des Oxyds und die Linie 5534,5 sehr deutlich. Es färbte die Flamme grünlichgelb und schmolz zu einem Kügelchen zusammen. Bariumbromid gab das Spectrum des Oxyds und die Linie 5534,5 nur schwierig; das Spectrum war nicht sehr hell und die Flamme war nur schwach gefärbt. Bariumchlorid gab dasselbe Spectrum, nur war es bedeutend heller und die Flamme zeigte eine lebhaft blassgrüne Färbung. Bariumfluorid gab kaum eine Spur des Oxydspectrums und die

kurzen Linien kennen zu lernen, indem Perlen der verschiedenen Salze in das Ohr eines Platindrahts eingeschmolzen und in der Flamme eines Bunsen'schen Brenners erhitzt wurden.

Bei der Vergleichung der durch die Flamme und der durch einen schwachen elektrischen Funken erzeugten Spectra zeigte es sich, dass die Spectra der Metalle in der Verbindung stets im erstern Falle bedeutend einfacher waren als im letztern, und dass sie bis zu einem solchen Grade vereinfacht wurden, dass nur die längste Linie übrigblieb.

Bariumiodid gibt im Funkenspectrum fünfundzwanzig Linien, in der Flamme dagegen nur eine, und zwar die längste, 5534,5.

Bariumbromid gibt im Funken fünfundzwanzig Linien, in der Flamme ebenfalls nur die längste Linie 5534,5.

Bariumchlorid verhält sich genau wie das Iodid und das Bromid.

Bariumfluorid zeigt vier Linien im Funken, eine, nämlich 5534,5, in der Flamme.

Was weiter das Strontium betrifft, so zeigt das Iodid zweiunddreissig Linien im Funken, in der

Linie 5534,5 war sehr schwach. Das Salz zeigte keine Spuren von Schmelzung, die Flamme war nur theilweise schwach gefärbt.

Strontium. — Strontiumiodid gibt das von Bunsen und Kirchhoff angegebene Spectrum im Roth und die blaue Metalllinie 4607,5. Strontiumbromid verhielt sich dem Iodid ziemlich ähnlich, zeigte indess deutlicher die Structur der Linien im Roth. Die Linie 4607,5 war immer sichtbar und sehr hell, während dieselbe in dem Spectrum des Iodids eine Zeit lang schwach war und dann heller wurde. Strontiumchlorid gab die Banden anfangs sehr hell, nach einiger Zeit weniger hell; 4607,5 war schwächer, aber sehr deutlich. Strontiumfluorid gab weder eine Spur vom Metall- noch von dem Salzspectrum. Nur zur Weissglut erhitzt, gibt es ein Spectrum, und zwar ein continuirliches.

Flamme dagegen nur die einzige Linie 4607,5, bei weitem die längste des ganzen Spectrums.

Strontiumbromid und Strontiumchlorid zeigen vollkommene Uebereinstimmung mit dem Iodid, indem sie ebenfalls im Funkenspectrum zweiunddreissig, im Flammenspectrum dagegen nur die einzige Linie 4607,5 zeigen.

Strontiumfluorid zeigt im Funken vierzehn, in der Flamme dagegen keine einzige Linie. Dieses Salz gibt in der Flamme überhaupt kein Spectrum, welches dem Metall oder der Verbindung angehörte.

Besonders bemerkenswerth ist es, dass das Strontiumoxyd in seinem Verhalten ein Zwischenglied zwischen dem Chlorid und dem Fluorid bildet. Das Spectrum dieser Verbindung besteht nur aus dem Band in der Nähe von *D*; selbst die längste Linie 4607,5 ist unsichtbar.

§. 6. *Aehnlichkeit der Spectra der Salze in Luft.*

Wie bei der Beobachtung der Flammenspectra, so bemerkte man auch bei den ersten Beobachtungen der Funkenspectra, dass nach einiger Zeit das Spectrum nahezu dasselbe war, gleichviel, welches Salz zur Erzeugung desselben benutzt wurde. Eine sorgfältige Untersuchung der Erscheinungen, die von meinem Assistenten, Herrn Friswell, ausgeführt wurde und bei welcher er sich einer gewöhnlichen Bunsen'schen Flamme bediente, macht es sehr wahrscheinlich, dass das Bandspectrum dasjenige des Oxyds war.*

* Die Beobachtungen wurden mit einem grossen Steinheil'schen Spectroskop mit vier Prismen, wie es für die gewöhnlichen Beobachtungen der Metallspectra benutzt wurde, ausgeführt. Der Spalt war indess etwas breiter. Das Salz wurde vermittle eines gebogenen Platindrahts in die Flamme eines kleinen Bunsen'schen Brenners gehalten.

Die Ergebnisse dieser Beobachtungen lassen sich etwa dahin zusammenfassen, dass sich die durch den Funken

Strontiumiodid. Unmittelbar nach Einführung des Drahts in die Flamme schmolz das Salz und die Flamme zeigte eine lebhafte gelbe Färbung. Das Spectrum zeigte die Linie *D* und den unmittelbar neben derselben liegenden Streifen des Strontiumspectrum sehr hell, dagegen war die Metalllinie 4607,5 unsichtbar oder nur ganz schwach.

Wurde jetzt die geschmolzene Salzperle schnell aus der Flamme genommen und vor einen Bogen weisses Papier gehalten, so sah man deutlich violette Dämpfe von Iod aus derselben entweichen. Wurde das Salz dann wieder in die Flamme gebracht und weiter erhitzt, so wurde es immer mehr unschmelzbar und erstarrte zuletzt. Die gelbe Färbung der Flamme verschwindet, die Linie *D* erlischt und die Flamme wird roth. Das Bandspectrum und die Linie 4607,5 sind jetzt sehr deutlich, die erstarrte Masse wird weissglühend und gibt ein continuirliches Spectrum. Wird die Masse jetzt in ein Reagenzgläschen gebracht und mit Säure behandelt, so braust dieselbe auf, dagegen erscheint mit Salpetersäure und Stärkekleister keine blaue Färbung.

Das Iod ist also offenbar ausgetrieben und die Masse ist in das Oxyd und zum Theil in das Carbonat verwandelt.

Es scheint also, dass die Zerlegung der Verbindung und die Verflüchtigung des Iods so viel Hitze verbrauchen, dass das SrJ_2 nicht genügend erhitzt wird, um verflüchtigt zu werden. Wir würden daher das Spectrum desselben nicht bemerken, selbst wenn die Flamme heiss genug wäre, um den Dampf leuchtend zu machen, und der Körper beständig genug, um eine solche Hitze ohne Zerlegung zu ertragen. Das Spectrum, welches wir sehen, wird durch die zerlegende Wirkung der Flamme hervorgebracht, die entweder auf geringe Mengen von SrJ_2 wirkt, welche verflüchtigt, oder was wahrscheinlicher ist, durch die Ioddämpfe mechanisch mit fortgerissen werden. Es ist zu bemerken, dass, wenn die Salzperle unschmelzbar wird, das Spectrum zu erlöschen beginnt. Nur der Streifen im Orange erscheint noch ganz schwach, und die Linie 4607,5 verschwindet vollständig. Wir haben also zuletzt nur noch das nichtflüchtige Oxyd in der Flamme und dieses kann natürlich durch sein Glühen nur ein continuirliches Spectrum geben.

Das Strontiumbromid zeigt in seinem Verhalten grosse Uebereinstimmung mit dem Iodid. Das Abweichende, was es zeigt, beruht auf der grössern Beständigkeit des Salzes

erzeugten Spectra von den Flammenspectren hauptsächlich dadurch unterscheiden, dass wir im erstern Falle mehr Linien des Metalls erhalten als im letztern.

Die Aehnlichkeit der in beiden Fällen beobachteten Bandspectra hat ihren Grund darin, dass sich das Oxyd bildet und dessen Spectrum zum Vorschein kommt.

Die weitere Ausführung dieser Untersuchungen und die Erklärung der angeführten Erscheinungen durch die Einführung des Begriffs der Dissociation der Salze durch die verschiedenen angewandten Energien soll in dem nächsten Kapitel näher besprochen werden.

in der Flamme; so bemerkt man nur wenig Dampf und einen ganz schwachen Geruch nach Brom. Selbst nach anhaltendem Glühen entwickelt es, mit Schwefelsäure und Manganüberoxyd behandelt, noch Brom.

Beim Strontiumchlorid sind keine Anzeichen von Zersetzung zu bemerken. Es bleibt vollkommen durchsichtig und schmelzbar und entwickelt auf Zusatz der erforderlichen Reagentien Chlor.

Strontiumfluorid war das beständigste von allen. Es schmolz nicht, ertheilte der Flamme keine Färbung und entwickelte nach anhaltendem Erhitzen Fluor, wie durch die gewöhnliche Reaction, Behandlung desselben mit Schwefelsäure auf einer Glasplatte, nachgewiesen wurde.

SIEBENTES KAPITEL.

Dissociation.

Wir sehen rings um uns eine unermessliche Anzahl vollkommen verschiedener, theils lebender, theils lebloser und bewegungsloser Wesen. Allein die Chemie belehrt uns, dass die Grundlage dieser scheinbar unbegrenzten Mannichfaltigkeit eine ausserordentlich einfache ist. Sie sagt uns, dass jeder Körper aus einem oder mehreren von nur dreiundsechzig verschiedenen Stoffen besteht, dass das gesammte Thierreich, das gesammte Pflanzenreich und das gesammte Mineralreich aus nur dreiundsechzig verschiedenen Substanzen aufgebaut ist. Wie überall, so lässt uns auch hier die Wissenschaft in der Mannichfaltigkeit eine überraschende Einfachheit erkennen.

Diese dreiundsechzig Elemente können wir nun von zwei verschiedenen Gesichtspunkten aus betrachten, indem wir einerseits ihre physikalische Beschaffenheit, andererseits ihr chemisches Verhalten ins Auge fassen. Was ihre physikalischen Eigenschaften betrifft, so finden wir, dass sechsundfunfzig derselben feste Körper, zwei Flüssigkeiten und fünf Gase sind. In rein chemischer Hinsicht theilen wir sie in Metalle und Metalloide ein, und für einige derselben ist es schwer zu bestimmen, an welche Stelle sie zu setzen sind, die Frage zu entscheiden, ob sie zu den Metallen oder zu den Metalloiden zu rechnen sind. Zwischen beiden Gruppen von

Elementen existirt ebenso wenig eine scharfe Grenze, wie zwischen den beiden grossen Gruppen organischer Körper, dem Thierreich und dem Pflanzenreich.

Das chemische Verhalten der einzelnen Elemente ist von ihren physikalischen Eigenschaften vollkommen unabhängig. So ist z. B. dasjenige Element, welches die chemischen Eigenschaften eines Metalls in der hervorragendsten Weise zeigt, ein Gas, nämlich der Wasserstoff. Ebenso gehört zu den Metallen ein bei gewöhnlicher Temperatur flüssiger Körper, das Quecksilber. Wir haben also unter den Metallen Vertreter aller drei Aggregatzustände. Natürlich hat in diesem Sinne das Wort Metall eine etwas weitere Bedeutung, als man demselben in der Sprache des gewöhnlichen Lebens beizulegen pflegt. Ebenso haben wir unter den Metalloiden Gase, z. B. Sauerstoff und Stickstoff, einen bei gewöhnlicher Temperatur flüssigen Körper, das Brom, sowie eine Anzahl unter gewöhnlichen Umständen fester Körper, wie Phosphor, Schwefel und Kohlenstoff.

§. 1. *Das Wesen der chemischen Wirkungen.*

Auf welche Weise sind nun die Chemiker zur Kenntniss dieser wunderbaren Einfachheit gekommen? Indem sie alle zusammengesetzten Körper, welche sich in der Natur finden, zerlegten, indem sie die Moleküle, aus denen ein solcher Körper besteht, voneinander trennten und sich so in den Stand setzten, die einzelnen Bestandtheile zu untersuchen. War ein Bestandtheil wieder ein zusammengesetzter Körper, so wurde er wieder in einfachere Theile zerlegt, und so weiter, bis man die nicht in einfachere Bestandtheile zerlegbaren Elemente erhielt.

Wir können die Thätigkeit des Chemikers vielleicht noch etwas näher bezeichnen, wenn wir sagen, dass er bei allen seinen Untersuchungen hauptsächlich von der Wirkung gewisser Schwingungen Gebrauch macht.

Der Gegenstand seiner Untersuchungen ist eine Welt von unzähligen, in Gestalt und Zusammensetzung verschiedenen Molekülen, und er wirkt auf diese Moleküle durch Schwingungen ein. Für grobe Moleküle hat er in der Wärme ein geeignetes Mittel, um dieselben in Schwingung zu versetzen, für feinere Moleküle dagegen leistet ihm die Elektrizität dieselben Dienste, wie die Hitze für jene.

Ich will versuchen, meine Ansicht etwas deutlicher auszudrücken. Denken wir uns eine lange Reihe von Schwingungen, die an dem einen Ende lang, an dem andern kurz sind. Sowol von der Wärme, als vom Licht wissen wir, dass sie gewissen Schwingungen ihre Entstehung verdanken. Wir wollen uns vorstellen, dass auch die Elektrizität mit Schwingungen in Verbindung steht, und wollen annehmen, dass diese Schwingungen kurz sind. Wärme erhalten wir von der Sonne, und unter den Schwingungen befinden sich einige, zu deren Wahrnehmung unser Auge befähigt ist. Wir erhalten eine ungeheuere Wärmeschwingung von der Knallgasflamme, dagegen erhalten wir fast gar kein Licht von derselben. Viele elektrische Erscheinungen, die wir kennen, finden ohne Erzeugung von Licht und Wärme statt, ein Beweis, dass dieselben nicht durch lange Wellen erzeugt werden. Andere sind dagegen mit lebhafter Lichtentwicklung verbunden, da die erzeugenden Schwingungen innerhalb der Grenzen des Wahrnehmungsvermögens unsers Auges liegen. Es scheint in der That, als ob wir es mit langen Wärmewellen an dem einen und kurzen Elektrizitätswellen an dem andern Ende einer langen Scala zu thun hätten, die sich durch verschiedene Wirkungen geltend machen, indem uns die Wärme in festen und flüssigen Körpern durch das Hinzukommen kurzer Wellen, und die Elektrizität in Gasen und Dämpfen durch das Hinzukommen langer Wellen sichtbare Erscheinungen gibt. Gasförmige Körper werden von Wärme und feste Körper von Elektrizität ohne dem Auge wahrnehmbare Wir-

kungen durchdrungen. Die Wärme bewirkt chemische Veränderungen in festen und flüssigen, die Elektrizität ähnliche Veränderungen in gasförmigen Körpern.

Wir wollen nun weiter annehmen, dass die Molekularbewegung, die wir Wärme nennen, vorzugsweise auf grössere Moleküle, d. h. auf zusammengesetzte Körper, dagegen diejenige Molekularbewegung, die wir Elektrizität nennen, vorzugsweise auf kleinere Moleküle, d. h. auf die Atome einfacher Substanzen einwirkt. So beobachten wir z. B. in Uebereinstimmung mit dieser Annahme, dass ein aus Millionen zusammengesetzter Moleküle bestehendes Stückchen Eis durch Anwendung von Wärme eine physikalische Vereinfachung erleidet, indem es in Wasser verwandelt wird. Eine zweite, der ersten ähnliche Stufe der Vereinfachung wird erreicht, wenn das flüssige Wasser in Dampf verwandelt wird. Aber erst eine ungeheuer hohe Temperatur mit kürzern Schwingungen oder Elektrizität ist im Stande, das zusammengesetzte Molekül in seine beiden Bestandtheile Wasserstoff und Sauerstoff zu zerlegen, vorausgesetzt, dass nicht die Schwingungen eines andern Moleküls oder Atoms, welche auf die Wassertheilchen einwirken, hinzukommen.

§. 2. *Wirkung der Wärme.*

Was die Wirkung der Wärme betrifft, so will ich einige Beispiele anführen, aus denen hervorgeht, dass in vielen Fällen die erforderliche Schwingung, durch welche eine Vereinfachung erzeugt wird, von der chemischen Wirkung selbst hervorgebracht wird. Es ist die Wärme gehemmter Bewegung. In andern Fällen müssen wir eine künstliche Wärmequelle anwenden. Aber auch in diesem Falle entstammt ja die Wärme einem chemischen Process, einer Verbrennung. Wirft man z. B. ein Stückchen Kalium auf Wasser, so fängt dasselbe sofort an zu brennen. Ein kaltes Metall auf kaltes

Wasser geworfen fängt plötzlich an zu brennen, infolge der Vereinigungswärme, welche durch die Anziehung zwischen dem Kalium und dem Wasser erzeugt wird. Durch die Wirkung dieser Wärmeschwingung wird das Wasser zerlegt, indem sich einer seiner Bestandtheile, der Sauerstoff, mit dem Kalium verbindet, während der andere, der Wasserstoff, frei wird und in einem Glas-cylinder aufgefangen werden kann.

Ein anderes Beispiel bietet ein Gemisch von Wasser und Schwefelsäure. Giesst man ein wenig Aether in ein Reagenzgläschen und stellt es in ein zum Theil mit kaltem Wasser angefülltes Glas, so erleidet der Aether keine Veränderung. Giesst man nun aber Schwefelsäure zu dem Wasser, so entsteht eine Anziehung zwischen diesen beiden Körpern. Es findet eine chemische Vereinigung beider statt und durch diese Vereinigung entsteht Wärme. Das Wasser erhitzt sich, ohne zu verdampfen, der Aether dagegen, welcher viel leichter als Wasser siedet, verwandelt sich in Dampf.

Von zahlreichen andern Beispielen, die angeführt werden könnten, um zu zeigen, wie Veränderungen durch Wärmeschwingungen erzeugt werden, will ich nur noch eins hervorheben. Kaliumbichromat wird durch Anwendung von Wärme augenblicklich reducirt. Eine Aenderung der Farbe der Lösung begleitet in diesem Falle die Anwendung einer äussern Wärmequelle. Die Hitze des angewandten Bunsen'schen Brenners ist aber nichts anderes als die Wirkung einer chemischen Vereinigung, sodass wir uns nur um eine Stufe weiter rückwärts bewegt haben.

§. 3. *Elektricität.*

Wir haben nun, wie ich bereits gesagt habe, nicht nur in der Wärme mit ihren langen Wellen ein Mittel, um chemische Wirkung und deren Resultat, Vereinfachung, zu erzeugen, sondern, wir besitzen ein weiteres Mittel in der Elektricität.

Ein einfaches Beispiel, die Zerlegung des Wassers durch Elektricität, wird es uns deutlich machen, wie sehr die Wirkung der Elektricität von der Wirkung der Wärme verschieden ist. Wir bedürfen zu dieser Zerlegung zwei mit Wasser gefüllte Röhrchen, deren Inhalt dadurch in Verbindung gebracht ist, dass sie beide mit dem offenen Ende in ein Gefäß mit Wasser eingetaucht sind. Ausserdem ist in jedes der beiden Röhrchen ein kleines Stückchen Platinblech eingelassen, deren jedes mit einem der Pole einer elektrischen Batterie in Verbindung steht. Wenn der Strom geschlossen wird, so beginnt augenblicklich die Zerlegung des Wassers; an dem einen Pol treten Blasen von Wasserstoff, an dem andern Pol Blasen des andern Bestandtheils des Wassers, des Sauerstoffs, auf. Wir bewirken also auf diese Weise nicht mit Hülfe der langen Wärmewellen, sondern mit Hülfe der Elektricität eine vollständige Dissociation, eine vollständige Trennung der Elemente des Wassers, eine Wirkung, welche die langen Wärmewellen nicht hervorbringen können, da wir eine Temperatur von der Höhe, welche dazu erforderlich sein würde, nicht zu erzeugen vermögen.

Diese Beispiele einer Vereinfachung durch Wärme und Elektricität mögen genügen. Bevor ich jedoch diesen Gegenstand verlasse, will ich noch eine Bemerkung machen. Wenn wir die letzten Massentheilchen eines Elements als Atome, Anhäufungen von Atomen als Moleküle definiren, und zwar als elementare Moleküle, wenn die Atome gleichartig, und als zusammengesetzte Moleküle, wenn dieselben ungleichartig sind, so können wir, wenn auch nicht immer, doch im allgemeinen mit Hülfe der Wärmewellen das Molekül, mit Hülfe der Elektricität das Atom gewinnen. Der Satz würde vielleicht allgemeine Gültigkeit haben, wenn alle elementaren Atome eine gleichartige Beschaffenheit hätten. Wir befinden uns indess nicht in der Lage, eine solche gleichartige Beschaffenheit für wahrscheinlich halten zu können. Ich werde im Gegentheil im

weitem Verlaufe unserer Betrachtungen Thatsachen anführen, welche dafür sprechen, dass dieselben sehr verschieden sind. Ueber die Gestalt derselben befinden wir uns im Unklaren und können nur die Schwingungen derselben untersuchen. W. Thomson hat berechnet, dass die Atome in einem Wassertropfen so ausserordentlich klein sind, dass, wenn der Tropfen bis auf die Dimensionen der Erde vergrössert würde, dieselben kaum die Grösse eines Cricketballs erreichen würden.

Es muss hier beachtet werden, dass es sich hier um das wahre Atom und nicht um das Atom der Chemiker handelt, dessen Gewicht sie als das „Atomgewicht“ ansehen. Es wird sich wahrscheinlich herausstellen, dass dieses in vielen Fällen ein Molekül und zwar zuweilen ein sehr zusammengesetztes Molekül ist, welches durch grosse Hitze oder Elektrizität, durch die letztere oft mehr als einmal zerlegt werden kann. Vor der Einführung des Spectroskops in die Wissenschaft konnte der Chemiker eine Zerlegung von Massen nur durch Analyse der fraglichen Materie und des Products seiner Experiments nachweisen.

§. 4. *Das Spectroskop und die Dissociation.*

Seit der Einführung dieses Instruments in die Wissenschaft besitzen wir indess ein neues Hülfsmittel für die Untersuchung der Quantität und der Qualität der Dissociation. Diese neue Untersuchungsmethode ist nicht nur von rein chemischem Gesichtspunkt aus von Wichtigkeit, sondern sie hat auch unsere Kenntniss der Veränderungen des molekularen Baues beträchtlich erweitert.

Wir wissen durch Kirchhoff und Bunsen längst, dass feste und flüssige Körper continuirliche, Gase und Dämpfe, d. h. die festen und flüssigen Körper im Zustand der Dissociation, Linienspectra geben. Diese Beobachtung gab die erste Anregung zur Benutzung des Spectroskops zum Nachweis der Dissociation.

Betrachten wir zunächst, welche verschiedenen Arten der Spectra wir überhaupt unterscheiden können.

Befindet sich die Materie im festen Zustand, d. h. besteht sie aus grossen, dicht aneinander gelagerten, durch Wärmewellen bewegten Molekülen, so erhalten wir ein Spectrum von einer ganz besondern Art, ein sogenanntes „continuirliches“ Spectrum. Befindet sich dagegen die Materie im Zustand eines Gases oder Dampfs, welcher keinen Druck erleidet, d. h. sind die Atome oder Moleküle der Masse kleiner und weiter voneinander entfernt als im erstern Fall und durch Elektrizität oder in einigen Fällen durch Wärme bewegt, so erhalten wir ein Spectrum, in welchem das Licht nicht ein continuirliches Band bildet. Wir haben nur einzelne helle Linien, welche nur eine beschränkte Anzahl von Bildern des Spalts vorstellen. So setzt uns das Spectroskop in den Stand, den dünnern und den dichtern Zustand der Materie zu unterscheiden, und zwar ganz unabhängig von der Art der Materie und einerlei, ob wir ein durch Strahlung oder durch Absorption erzeugtes Spectrum benutzen, da, wie wir gesehen haben, eine Substanz mit einer bestimmten Molekularbeschaffenheit genau dieselben Schwingungen absorbiert, welche sie bei derselben Molekularbeschaffenheit ausstrahlt. Das Spectroskop sagt uns, ob sich die Materie im Zustand eines Gases oder Dampfs, oder ob sie sich in einem Zustand befindet, in welchem die Moleküle vermuthlich complicirter und näher zusammengedrängt sind. Im erstern Falle beobachten wir ein Linien- oder Bandenspectrum, im zweiten dagegen ein mehr oder weniger vollständiges continuirliches Spectrum.

Wir haben also zwei verschiedene Spectra zu unterscheiden, ein Bandenspectrum, welches durch die einer jeden Art von Materie eigenthümliche Schwingung der kleinsten Massentheilchen erzeugt wird, sowie ein continuirliches Spectrum, welches durch Schwingungen zusammengesetzterer Aggregate erzeugt wird, die nicht einer einzigen bestimmten Art der Materie angehören.

So geben uns z. B. geschmolzenes Eisen und geschmolzenes Natrium dasselbe Spectrum, nämlich ein continuirliches. Verwandeln wir dagegen durch Elektricität die beiden Metalle in Dampf, so erhalten wir ein Spectrum, welches beim Natrium aus vier Doppellinien, beim Eisen aus ungefähr tausend Linien besteht, die unregelmässig über das ganze Spectrum zerstreut sind. Zwischen diesen beiden Stufen des continuirlichen und des Linienspectrums sind drei andere Spectra beobachtet worden, von denen das eine für jedes Element ein besonderes ist, zwei dagegen allen Elementen gemeinsam sind.

Die Spectra, welche bei einfachen Substanzen beobachtet worden sind, sind die folgenden (vgl. Kap. IV, 16):

Linienpectrum.

Säulenstreifiges Spectrum.

Continuirliches Spectrum im Blau.

Continuirliches Spectrum im Roth.

Continuirliches Spectrum von Roth bis Blau.

So liefert uns das Spectroskop ein Mittel, um bei einfachen Körpern mit Sicherheit zwei, höchst wahrscheinlich aber im ganzen fünf verschiedene Zustände zu unterscheiden.

Es entsteht nun die weitere Frage, welche Dienste uns das Spectroskop zur Erkennung chemischer Unterschiede leistet. In dieser Hinsicht sind die Kenntnisse, welche wir dem Spectroskop verdanken, viel bestimmter Art. Das Spectroskop setzt uns im allgemeinen (ich sage ausdrücklich „im allgemeinen“, da ich bereits auf das Grenzgebiet zwischen Metallen und Metalloiden hingewiesen habe) in den Stand, die Metalle von den Metalloiden mit derselben Bestimmtheit zu unterscheiden, wie die festen Körper von den gasförmigen.

Ein Metall gibt uns, wenn wir es mit Hülfe der Elektricität verdampfen, stets, zuweilen auch bei Anwendung von Wärme, ein Linienspectrum.

Ein Metalloid gibt unter der Einwirkung der Elektricität, aber niemals bei Anwendung von Wärme ein Linienspectrum. Die langen Wärmewellen erzeugen

durch ihre Einwirkung auf die Moleküle der Metalloide nur säulenstreifige Spectra.

Ebenso wie uns das Spectroskop befähigt, die Metalle von den Metalloiden durch ihre Spectra zu unterscheiden, so setzt es uns auch in den Stand, das Molekül eines zusammengesetzten Körpers von dem Molekül eines einfachen Körpers durch die Beschaffenheit ihrer Spectra zu unterscheiden. Haben wir es mit einem metallischen Element zu thun, so erhalten wir ein eigenthümliches Spectrum von so bestimmtem Aussehen, dass jeder, der es einmal gesehen hat, stets mit Sicherheit erkennen wird, welchem Metall es angehört. Ebenso ist das Spectrum der Metalloide, wie es in der Regel beobachtet wird, ein so bestimmtes und von den Spectren der Metalle so verschiedenes, dass jeder ein solches von den langen Wärmequellen erzeugtes Metalloid-spectrum wiedererkennen wird. Es ist ganz unmöglich, ein solches Spectrum mit dem Linienspectrum eines Metalls zu verwechseln.

Wenn wir die Spectra durch Elektrizität erzeugen, so zeigen die Spectra der Metalloide dasselbe Ansehen wie die Spectra der Metalle. Nur bei Anwendung von Wärmewellen sind die angegebenen Verschiedenheiten zu beobachten.

Das Gesagte gilt nur für die elementaren Moleküle, die Atome der Metalle und Metalloide. Wir wollen nun dazu übergehen, das Verhalten der zusammengesetzten Moleküle etwas näher zu betrachten. Wir wollen als Beispiel eine Verbindung zwischen Metalloiden und Metallen, etwa ein Strontiumsalz, Strontiumchlorid oder Strontiumiodid wählen. Hier handelt es sich also um zusammengesetzte Moleküle, die nicht aus einer, sondern aus zwei Substanzen bestehen, die zwar durch Wärmewellen in Schwingung versetzt und leuchtend gemacht, aber nicht in ihre Bestandtheile zerlegt werden.

Wir finden, dass uns das Spectroskop auch in diesem Falle ein ganz eigenthümliches Spectrum liefert, welches

leicht von andern Spectren zu unterscheiden ist, sodass jeder, der einmal das Spectrum von Strontiumiodid gesehen hat, dasselbe stets mit Sicherheit wiedererkennen wird.

Dieselbe Bemerkung gilt für diejenigen zusammengesetzten Moleküle, welche Sauerstoff als Bestandtheil enthalten. Solche Spectra haben grosse Aehnlichkeit mit den Spectren der Metalloide, allein die Banden sind weiter voneinander entfernt und liegen im allgemeinen dem violetten Ende näher, sodass sie leicht von jenen zu unterscheiden sind.

Der wesentliche Unterschied zwischen dem Spectrum eines Metalloids und dem Spectrum eines Metalls einerseits und dem Spectrum einer Verbindung andererseits besteht darin, dass das Metalloid ein säulenstreifiges Spectrum zeigt, welches sich in der Regel in dem mittlern Theil des Spectrums, d. h. im Grün oder benachbarten Theilen befindet, der Dampf eines Metalls dagegen keine Banden, sondern helle Linien, deren Anzahl gegen das violette Ende zunimmt. Bei einer Verbindung, z. B. Strontiumiodid, erhalten wir nun aber ein Mittelding zwischen einem säulenstreifigen Bandenspectrum und einem Linienspectrum. Dieselben sind indess in allen Fällen, die ich untersucht habe, mit Ausnahme der Oxyde, auf das rothe Ende des Spectrums beschränkt.

Nunmehr befinden wir uns im Besitz der erforderlichen Kenntnisse, die uns die Bedeutung des Spectroskops zu würdigen befähigen, wenn es sich um Untersuchung von Dissociationserscheinungen handelt.

Wenn wir die Moleküle von festen Körpern, die uns ein continuirliches Spectrum geben, in Dampf verwandeln, wenn wir dieselben, mit andern Worten gesagt, dissociiren, so erhalten wir, wenn die Dissociation eine vollständige ist, die Linienspectra der sie zusammensetzenden Elemente. Diese Thatsache finden wir ganz allgemein bestätigt.

Betrachten wir zweitens ein zusammengesetztes Molekül, d. h. eine Verbindung von zwei Molekülen oder Atomen verschiedener Substanzen, so kommt sofort die Frage der Schwingungen ins Spiel. Denn da die Wirkung der Schwingungen, mag es sich um grosse Moleküle und lange Wärmewellen oder um kleine Moleküle und kurze Elektrizitätswellen handeln, darin besteht, die zusammengesetzten Moleküle in einfachere zu verwandeln, so müssen wir auch Verschiedenheiten in den spectroscopischen Erscheinungen beobachten.

Wir wollen uns daher mit der Frage der Dissociation bekannter zusammengesetzter Körper etwas eingehender beschäftigen. Die im letzten Kapitel angeführten Thatsachen werden uns namentlich in den Stand setzen, dieser Frage näher zu treten.

§. 5. *Die Spectra bekannter zusammengesetzter Körper.*

Die ersten Beobachtungen dieser Art werden bereits von Kirchhoff und Bunsen (1860) mitgetheilt.* Dieselben sagen: „Die auf der Tafel dargestellten**“, mit Hülfe der reinen Chlorverbindungen erzeugten Spectren haben wir mit denjenigen verglichen, welche man erhält, wenn man die Bromide, Iodide, Oxydhydrate, die schwefelsauren und kohlensauren Salze der entsprechenden Metalle in folgende Flammen bringt:

In die Flamme des Schwefels,	
„ „ „ „ Schwefelkohlenstoffs,	
„ „ „ „ wasserhaltigen Alkohols,	
„ „ nichtleuchtende Flamme des Leuchtgases,	
„ „ Flamme des Kohlenoxydgases,	
„ „ „ „ Wasserstoffs und	
„ „ Knallgasflamme.	

* Poggendorf's Annalen, Bd. 110.

** Die Tafel enthält die bekannten Flammenspectra.

Bei dieser umfassenden und zeitraubenden Untersuchung, deren Einzelheiten wir übergehen zu dürfen glauben, hat sich herausgestellt, dass die Verschiedenheit der Verbindungen, in denen die Metalle angewandt wurden, die Mannichfaltigkeit der chemischen Processe in den einzelnen Flammen und der ungeheuere Temperaturunterschied dieser letztern keinen Einfluss auf die Lage der den einzelnen Metallen entsprechenden Spectrallinien ausübt.

„Es zeigte sich, dass dieselbe Metallverbindung in einer dieser Flammen ein um so intensiveres Spectrum gibt, je höher die Temperatur derselben ist. Von den Verbindungen desselben Metalls liefert in einer Flamme diejenige die grössere Lichtstärke, der eine grössere Flüchtigkeit zukommt.

„Um noch einen weiteren Beleg dafür zu erhalten, dass jedes der mehrfach genannten Metalle immer dieselben hellen Linien in dem Spectrum hervortreten lässt, haben wir die gezeichneten Spectren mit denjenigen verglichen, welche ein elektrischer Funke gewährt, der zwischen Electroden, die aus jenen Metallen bestehen, überspringt.

„Kleine Stücke von Kalium, Natrium, Lithium, Strontium und Calcium wurden an feine Platindrähte gebunden und in Glasröhren paarweise so eingeschmolzen, dass sie durch einen Zwischenraum von 1—2 Millimeter voneinander getrennt waren und die Drähte die Glaswand durchdrangen. Jede dieser Röhren wurde vor dem Spalt des Spectralinstruments aufgestellt. Mit Hülfe eines Ruhmkorff'schen Inductionsapparats* liessen wir zwischen den genannten Metallstücken elektrische Funken überspringen und verglichen das Spectrum derselben mit dem Spectrum einer Gasflamme, in welche die Chlorverbindung des entsprechenden Metalls gebracht war. Die Flamme befand sich hinter der Glas-

* Eine Leydener Flasche wurde jedenfalls nicht angewandt, da dieselbe nicht erwähnt wird.

röhre. Indem der Ruhmkorff'sche Apparat abwechselnd in und ausser Thätigkeit gesetzt wurde, war es leicht, ohne Messung sich mit Schärfe davon zu überzeugen, dass in dem glänzenden Spectrum des Funkens die hellen Linien des Flammenspectrums unverrückt vorhanden waren. Ausser diesen traten in dem Funkenspectrum noch andere helle Linien auf, von denen ein Theil der Anwesenheit von fremden Metallen in den Electroden, ein anderer dem Stickstoff, der die Röhre erfüllte, nachdem der Sauerstoff einen Theil der Electroden oxydirt hatte, zugeschrieben werden muss.“*

Wie bereits in einer Anmerkung erwähnt worden ist, zeigt die dieser Abhandlung beigegebene Tafel, dass die auf diese Weise von Kirchhoff und Bunsen erhaltenen Spectra die Flammenspectra der betreffenden Elemente waren.

§. 6. *Mitscherlich's erste Abhandlung.*

Mit dieser Frage beschäftigten sich 1862 Mitscherlich** Roscoe und Clifton***, deren Abhandlungen ich kurz im Auszuge mittheilen will, sowie im Jahre 1865 Diacon†. Mitscherlich beschreibt zunächst die Einzelheiten einiger Experimente und sagt dann:

„Aus diesen Versuchen folgt, dass Metallverbindungen nicht immer ein Spectrum geben und dass bei denjenigen, welche ein solches geben, dasselbe nicht immer von derselben Art ist, sowie weiter, dass die Spectra verschieden sind, je nachdem sie durch ein Metall oder die Verbindungen desselben erzeugt werden. Wir sind also zu dem Schlusse berechtigt, dass jede binäre Ver-

* Ich werde in dem Folgenden zeigen, dass diese Erklärung wahrscheinlich nicht die richtige ist.

** Ann. de Chim. et de Phys. (1862), p. 175.

*** Trans. Lit. and Phil. Society (Manchester 1862).

† Ann. de Chim. et de Phys., 4. Ser., Vol. VI, p. 5.

bindung, welche ein Spectrum gibt, ein ihr eigenthümliches erzeugt, natürlich ausgenommen, wenn die Verbindung durch die Flamme zerstört wird. Bisjetzt erstreckt sich unsere Kenntniss fast nur auf die Spectra der Metalle selbst, da die Verbindungen derselben so leicht durch die Flamme reducirt werden.

„Man hat bisjetzt angenommen, dass die Metalle stets dasselbe Spectrum geben, gleichviel mit welchen andern Elementen dieselben verbunden sind.* Da sich indess aus den erwähnten Experimenten ergab, dass dies nicht der Fall war, so musste die Frage entschieden werden, ob die gewöhnlichen Spectra den Metallen selbst oder den Oxyden angehören, zumal bei meinen Untersuchungen alle Verbindungen, welche das Metall in Form des Oxyds enthalten, dieselben Spectra geben.“

Aus seinen mit Natrium angestellten Versuchen schliesst er, dass das durch eine Flamme erzeugte Linienspectrum des Natriums das Spectrum des Metalls und nicht dasjenige des Oxyds ist. Daraus folgert er, dass bei den Oxyden das Spectrum dasjenige der Metalle ist.**

Die später entdeckten neuen Linien, welche nicht mit Linien des Metalls zusammenfallen, hält er für Linien binärer Verbindungen.

§. 7. *Clifton und Roscoe.*

Der wichtigste Punkt der Abhandlung Mitscherlich's, dass nämlich jede binäre Verbindung ihr eigenes Spectrum hat, wurde durch die Beobachtungen von Clifton und Roscoe bestätigt.

„Kirchhoff“ — so heisst es in der angeführten Abhandlung — „bemerkte bei seinen Untersuchungen über

* Diese Bemerkung bezieht sich auf die angeführte Abhandlung von Kirchhoff und Bunsen.

** Diese Ansicht corrigirt er in der sogleich anzuführenden zweiten Abhandlung.

das Sonnenspectrum und die Spectra der chemischen Elemente, dass helle Linien des Calciumspectrum, die bei der Temperatur der Flamme unsichtbar waren, bei der höhern Temperatur eines kräftigen elektrischen Funkens sichtbar wurden. Wir haben diese Beobachtung Kirchhoff's bestätigt und dieselbe weiter ausgedehnt, indem wir eine ähnliche Veränderung in den Spectren von Strontium und Barium nachwiesen, und zweitens, indem wir beobachteten, dass bei der hohen Temperatur eines kräftigen elektrischen Funkens nicht nur neue Linien erscheinen, sondern auch, dass die bei niedriger Temperatur auftretenden breiten Banden des Metalls oder einer Verbindung des Metalls bei der erhöhten Temperatur eines starken Funkens vollständig verschwinden. Die neuen hellen Linien, welche an Stelle der breiten Banden auftreten, fallen im allgemeinen nicht mit den Banden zusammen, sondern sind etwas nach der einen oder andern Seite hin verschoben. So erscheinen an Stelle des breiten Streifens *Ca β* im Flammenspectrum des Calciums im Funkenspectrum fünf grüne Linien, welche sämmtlich weniger brechbar sind als der Streifen *Ca β*, während an Stelle der Linie *Ca α* im Orange drei Linien auftreten, die stärker brechbar sind als *Ca α*. Ein sehr deutlicher Streifen im Flammenspectrum des Calciums verschwand vollständig im Funkenspectrum. Wir haben uns durch wiederholte Beobachtungen davon überzeugt, dass in ähnlicher Weise breite Banden der Flammenspectra von Strontium- und Bariumverbindungen, namentlich *Sr α*, *Sr β*, *Sr γ*, *Ba α*, *Ba β*, *Ba γ*, *Ba δ*, *Ba ε*, *Ba η* im Spectrum eines kräftigen Funkens vollständig verschwinden und neue, nicht mit jenen zusammenfallende helle Linien auftreten. Die blaue Linie *Sr δ* ändert durch ähnliche Temperaturunterschiede weder ihre Helligkeit noch ihre Lage, allein es erscheinen bei höherer Temperatur vier neue violette Linien im Strontiumspectrum.

„Wenn es gestattet ist, bei dem noch unvollkommenen Zustand dieser interessanten Untersuchungen eine

Vermuthung über die Ursache des Verschwindens der breiten Banden und das Auftreten heller Linien auszusprechen, so möchten wir behaupten, dass bei der niedrigen Temperatur der Flamme oder eines schwachen elektrischen Funkens das Spectrum des glühenden Dampfs einer Verbindung, vermuthlich des Oxyds, beobachtet wird, während bei der ausserordentlich hohen Temperatur eines starken elektrischen Funkens diese Verbindung zerlegt wird und das Spectrum des Metalls selbst zum Vorschein kommt.“

§. 8. *Mitscherlich's zweite Abhandlung.*

Zwei Jahre später (1864) theilte Mitscherlich in einer zweiten Abhandlung seine weitem Untersuchungen mit, welche in überraschender Weise Licht über diesen Gegenstand verbreiteten. Die angewandten Methoden waren die folgenden:

Die Substanzen wurden erhitzt:

1. In der Flamme eines Bunsen'schen Brenners.
2. In einer in Sauerstoff brennenden Leuchtgasflamme.
3. In einer in Chlor brennenden Wasserstoffflamme.
4. In der Flamme von Gemengen von Wasserstoff und Brom- oder Ioddampf, in Luft oder Sauerstoff brennend.

5. Brennbare Gase wurden in Luft oder Sauerstoff verbrannt, indem sie aus der mittlern Oeffnung eines Knallgasbrenners austreten.

Nicht brennbare Gase wurden mit einem brennbaren Gas, z. B. Kohlenoxydgas oder Wasserstoff, gemischt.

6. Feste Substanzen wurden in ein Rohr eingeschlossen, welches mit dem einen Ende mit einem Rose'schen Wasserstoffapparat verbunden war. Die Substanz wurde dann verflüchtigt und das Gas am andern Ende des Rohrs angezündet.

7. Ein anderes Verfahren bestand darin, dass man den Funken in irgendeinem Gas zwischen Polen, die

das Metall oder eine Verbindung desselben enthielten, oder zwischen flüssigen Electroden überspringen liess. Im letztern Fall ist die Temperatur viel niedriger als im erstern.

Aus einer Reihe von Untersuchungen, die nach diesen verschiedenen Methoden ausgeführt wurden, zog Mitscherlich den Schluss, dass jede Verbindung der ersten Ordnung, die nicht zersetzt wird und genügend erhitzt wird, um Licht auszustrahlen, ein der Verbindung eigenthümliches, besonderes Spectrum besitzt, welches von andern Umständen unabhängig ist.

§. 9. *Bestätigung durch die langen und kurzen Linien.*

Durch einige im Jahre 1873 der Royal Society mitgetheilte Versuche, die ich bei meinen Untersuchungen über die kurzen und langen Linien und die Vereinfachung des Spectrums durch Verminderung des Drucks anstellte, wird nach meiner Ansicht diese Frage in dem Sinne Mitscherlich's, Clifton's, Roscoe's und Diacon's bestätigt. Ueber alle frühern Beobachtungen wurde viel Licht verbreitet und es wurde zwischen denselben ein viel engerer Zusammenhang entdeckt als es anfangs den Anschein hatte.

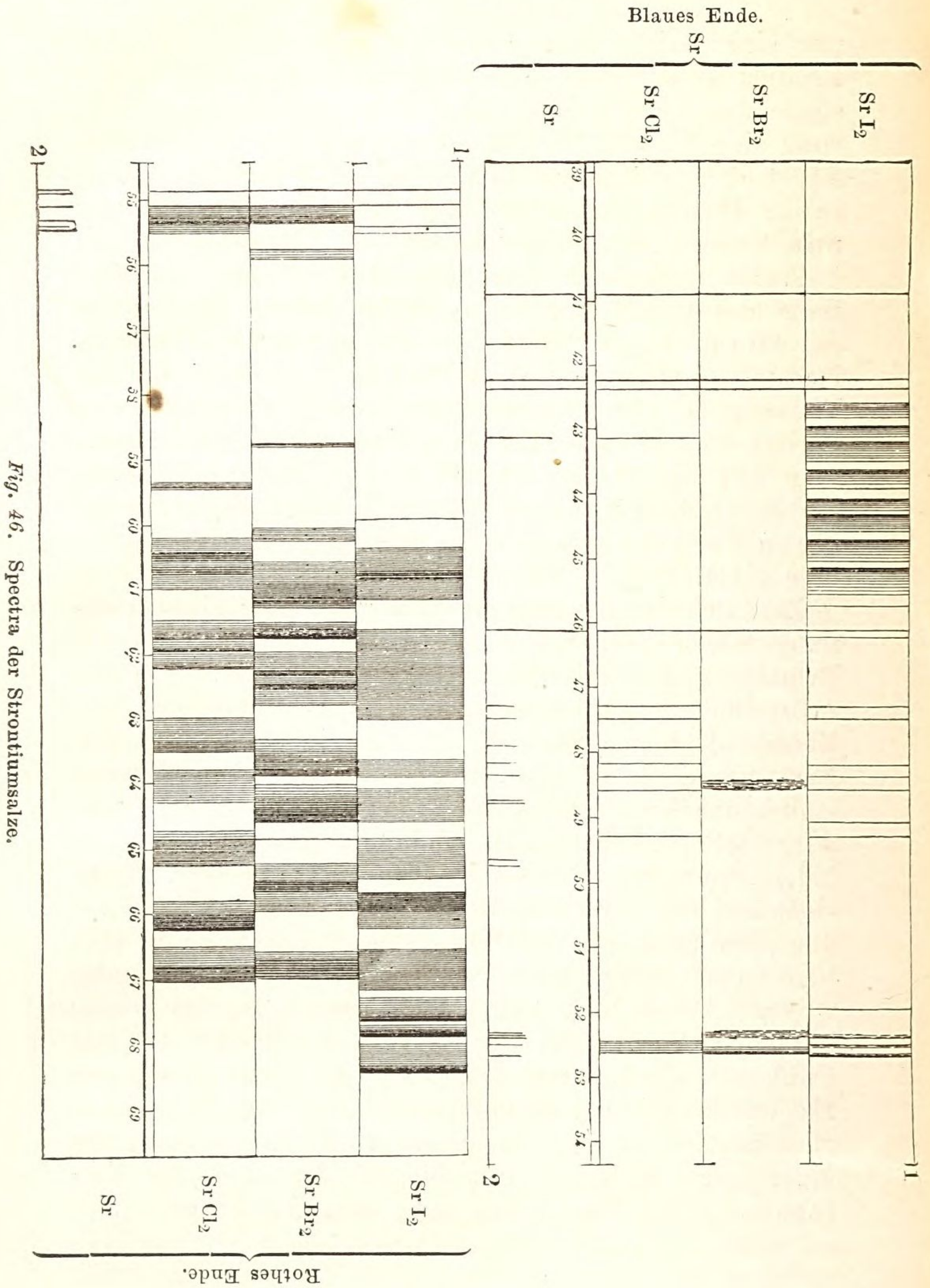
Diese Untersuchungen sind im Kapitel VI ausführlich mitgetheilt worden. Als Einleitung zu einem weiter zu besprechenden Gegenstand will ich dieselben hier nochmals kurz zusammenfassen:

1. Ich beobachtete, dass die Spectra der Iodide, Bromide u. s. w. in der Flamme oder in einem schwachen Funken in Luft beobachtet, im wesentlichen mit den von Kirchhoff und Bunsen beobachteten übereinstimmen. Dass dieses indess nicht das Spectrum des Metalls ist, wird durch die Thatsache nachgewiesen, dass bei niedriger Temperatur nur die längsten Linien der Metalle gegenwärtig sind, ein Zeichen, dass

nur eine geringe Menge des einfachen Metalls als das Product einer theilweisen Dissociation gegenwärtig ist, sowie durch die weitere Thatsache, dass durch Steigerung der Temperatur und also auch der Dissociation die übrigen Linien der Metalle in der Ordnung ihrer Länge mit der Zunahme der Temperatur zur Erscheinung kommen.

2. Ich überzeuge mich davon, dass dies das Spectrum des Oxyds ist, da nach der ersten Anwendung der Wärme in Luft die Spectra und Metalllinien im wesentlichen dieselben sind, während in Wasserstoff jede Verbindung ihr eigenes Spectrum besitzt und das Auftreten wahrer Metalllinien von der Flüchtigkeit der Verbindung abhängt, indem in dem Spectrum der am wenigsten flüchtigen Verbindung nur die längsten Linien sichtbar sind.

Zum Beweise des Gesagten lasse ich hier eine Zeichnung folgen (Fig. 46), welche die Spectra des Chlorids, Bromids und Iodids von Strontium vorstellt. Um das Auftreten des Oxydspectrums zu vermeiden und die Verschiedenheit der drei Spectra möglichst deutlich zur Erscheinung zu bringen, wurden dieselben in Wasserstoff beobachtet. Dasselbe wurde in einer solchen Weise dargestellt und behandelt, dass die Anwesenheit einer jeden Spur von Sauerstoff ausgeschlossen war. Man sieht auf den ersten Blick, dass die Spectra nicht nur von dem Spectrum des Metalls oder der Salze in Luft bei hoher Temperatur, sondern auch untereinander wesentlich verschieden sind. Bei diesen Versuchen wurde besondere Sorgfalt verwendet, um die Temperatur des Funkens auf einen möglichst niedrigen Grad zu bringen. Es wurde keine Flasche angewendet, da sich deren Einschaltung in den Strom sofort durch das Auftreten einer grossen Menge von Metalllinien und das Verschwinden des Bandenspectrums bemerklich machte.



§. 10. *Rückblick.*

Diese und andere von mir beobachtete Thatsachen lassen sich in folgender Weise zusammenfassen.

1. Ein zusammengesetzter Körper hat, wie wir gesehen haben, ein ebenso bestimmtes Spectrum wie ein einfacher. Allein während das Spectrum des einfachen Metalls aus Linien besteht, deren Anzahl und Breite in der Regel bei grösserer Annäherung der Moleküle zunimmt, besteht das Spectrum der Verbindung hauptsächlich aus säulenstreifigen Räumen und Banden, welche in ähnlicher Weise zunehmen. Kurz, die Moleküle eines einfachen und eines zusammengesetzten Körpers werden, was das Spectrum derselben betrifft, durch Annäherung und Entfernung derselben in gleicher Weise verändert, oder mit andern Worten, beide Spectra haben ihre langen und ihre kurzen Linien, sodass die Linien im Spectrum des Elements im Spectrum der Verbindung durch Banden oder säulenstreifige Linien ersetzt sind. In allen Fällen wird die grösste Einfachheit des Spectrums durch den höchsten Grad der Trennung der Moleküle, und die grösste Complexität (ein continuirliches Spectrum) durch den höchsten Grad der Annäherung bedingt.

2. Die Hitze, welche erforderlich ist, um das Spectrum einer Verbindung sichtbar zu machen, dissociirt die Verbindung in verschiedenem Grade, je nach der Flüchtigkeit derselben. Die Anzahl der so erscheinenden wahren Metalllinien ist ein Maass für den Grad der Dissociation, und in dem Maasse, wie die Metalllinien der Zahl nach zunehmen, verschwinden mehr und mehr die Banden der Verbindung.*

* Folgende Experimente wurden zur Bestätigung des Gesagten angestellt. Eine Perle von Strontiumchlorid wurde zwischen zwei Aluminiumelectroden gebracht und der Inductionsstrom ohne Anwendung einer Flasche geschlossen.

§. 11. *Das Problem der Dissociation der sogenannten Elemente.*

Ich habe nunmehr durch Zusammenstellung der That-
sachen in historischer Anordnung gezeigt, wie wir zu
dem Schlusse gekommen sind, dass die binären Ver-
bindungen ihr eigenes Spectrum haben, und wie diese
Ansicht zwar nicht streng bewiesen, doch durch Be-
trachtungen gestützt wird, denen die Beobachtungen
über die langen und kurzen Linien zu Grunde liegen.

Jetzt will ich dazu übergehen, zu zeigen, wie ganz
ähnliche Beobachtungen und ähnliche Betrachtungen in
der Zukunft dazu führen können, die zusammengesetzte
Natur von wenigstens einigen der chemischen Elemente
selbst nachzuweisen.

Vor einigen Jahren richtete ich meine Aufmerksam-
keit auf dies Problem von zwei verschiedenen Gesichts-
punkten aus, von denen der eine der vorhergehende war.

Das aus rothen Banden bestehende Oxydspectrum war sehr
hell, die einzige einigermaassen deutliche Metalllinie war
4607,5. Der Draht und die Perle wurden alsbald rothglühend,
die letztere verdampfte und das Spectrum verschwand. Dann
wurde eine Flasche mit 186 Quadratcentimeter belegter
Oberfläche in den Inductionsstrom eingeschaltet. Die Metall-
linien erschienen durch das ganze Spectrum, die „Structur“
(Oxydspectrum) wurde schwächer und die Zwischenräume
wurden breiter; die Perle wurde bald rothglühend. Eine
Flasche von 467 Quadratcentimeter Oberfläche gab nur Linien
ohne Structur, endlich eine noch grössere Flasche von 2214
Quadratcentimeter Oberfläche dasselbe Resultat, während die
Perle nicht glühend wurde.

Wurde die Perle als Electrode benutzt, so war das Resultat
nahezu dasselbe, allein die Wärmewirkung dauerte fort, wenn
etwas grössere Flaschen als die von 362 Quadratcentimeter
Oberfläche, die im ersten Falle keine Wirkung hatte, benutzt
wurden. Wenn der Spalt sehr eng war, so wurde beobachtet,
dass sich einige Banden des Oxydspectrums in Massen feiner
Linien auflösten, genau wie sie das Absorptionsspectrum von
Ioddampf zeigt.

In einer im Jahre 1874 der Royal Society vorgelegten Abhandlung, die unter anderm auch über die Umkehrung einiger Linien im Sonnenspectrum handelte, sagte ich*:

„Es ist einleuchtend, dass ebenso wie der Lage, auch dem genauen Charakter jeder einzelnen Fraunhofer'schen Linie, in deren Dicke ich bereits einige Unregelmässigkeiten bemerkt habe, eine grössere Aufmerksamkeit zugewendet werden muss. Ich führe für jetzt speciell die beiden dem Calcium angehörenden Linien *H* 3933 und 3968 an, die in allen Photographien des Sonnenspectrums viel dicker sind (sie sind vielleicht die dicksten Linien im ganzen Sonnenspectrum) als die breiteste Calciumlinie (4226,₃) an dieser Stelle, während diese letztere in allen Photographien des Calciumspectrums stets dicker ist als die Linien *H* und auch in dem Spectrum solcher Substanzen sichtbar bleibt, die so geringe Mengen von Calcium enthalten, dass keine Spur der Linien *H* erscheint.

„Wie weit diese und ähnliche Verschiedenheiten zwischen dem Sonnenspectrum und den Photographien durch Umstände, die ihre Ursache in der photographischen Aufnahme haben oder durch Schwankungen der Heftigkeit der molekularen Schwingungen auf der Sonne und auf der Erde verursacht werden, habe ich bisjetzt noch nicht entscheiden können.“

In Fig. 47 sind einige Copien von Photographien zusammengestellt, welche geeignet sind, das Gesagte zu bestätigen.

Zuerst bemerken wir den Unterschied zwischen dem Spectrum des nichtdissociirten und des dissociirten Chlorids. In dem durch einen schwachen Flammenbogen erzeugten Spectrum ist die einzelne Linie rechts (*WL* 4226,₃) viel dicker als die beiden Linien links (*WL* 3933 und 3968) und kehrt sich selbst um.

Bei stärkerem Strom sind die drei Linien, wie man

* Phil. Trans., CLXIV, p. 807.

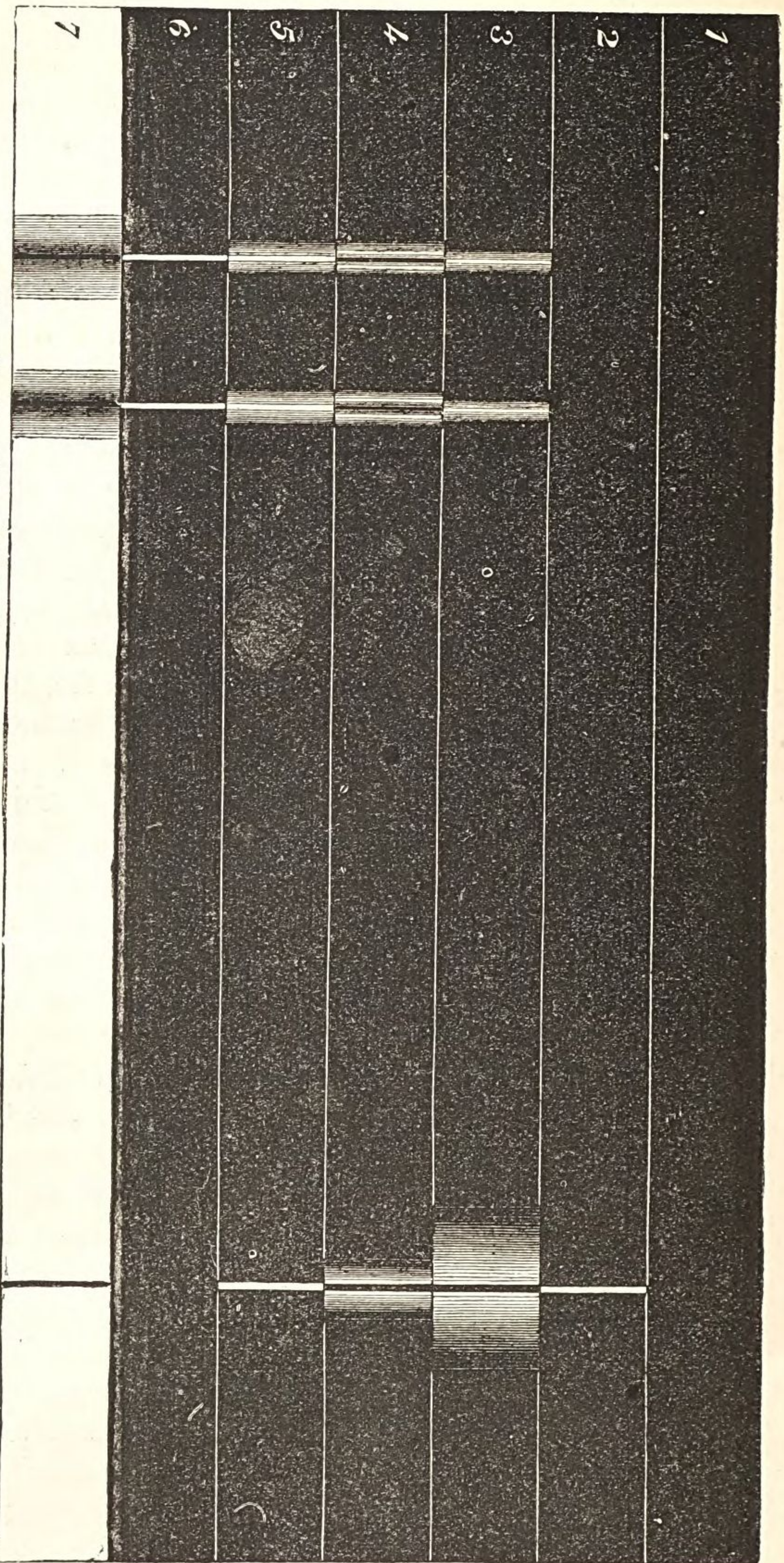


Fig. 47. Das blaue Ende des Calciumspectrums unter verschiedenen Bedingungen.

1. Calcium ist mit Chlor verbunden (CaCl_2). Bei niedriger Temperatur schwingt das Molekül als ein Ganzes, das Spectrum ist am rothen Ende und es sind keine Calciumlinien sichtbar.
2. Die Linie des Metalls, wenn das Molekül durch einen schwachen Inductionstrom in geringem Maasse dissociirt ist.
3. Das Spectrum des metallischen Calciums im elektrischen Flammenbogen mit schwacher Batterie.
4. Dasselbe bei stärkerer Batterie.
5. Das Spectrum bei Anwendung einer Inductionsröhre und einer kleinen Flasche.
6. Das Spectrum bei Anwendung einer langen Rolle und einer grossen Flasche.
7. Die Absorption des Calciumdampfs in der Sonne.

Calcium

aus der Figur ersieht, fast gleich dick und sämmtlich umgekehrt.

Nun muss man sich erinnern, dass bei bekannten Verbindungen die Bandstructur der zusammengesetzten Körper abnimmt, wenn eine Dissociation eintritt und die Spectra der einzelnen Bestandtheile der Verbindung zum Vorschein kommen.

Betrachten wir in Fig. 3 die breite Linie als den Repräsentanten des Bandenspectrums der Verbindung und die dünnern als die längsten Linien des Elements, die infolge einer theilweisen Dissociation auftreten, so haben wir es gewissermaassen mit einem Element zu thun, welches das Verhalten einer Verbindung zeigt.

Wenn diese Annahme eines zusammengesetzten Elements richtig ist, so müssen wir im Stande sein, durch niedrigere Temperaturen ein noch grösseres Ueberwiegen der einfachen Linien, dagegen durch höhere Temperaturen ein noch grösseres Ueberwiegen der doppelten Linien zu erzielen.

Diese Annahme habe ich im letzten Jahre in der folgenden Weise geprüft:

Zunächst will ich bemerken, dass mir die Anwendung der Photographie einestheils unentbehrlich, andererseits aber auch sehr erwünscht war; unentbehrlich, weil die Sichtbarkeit der weniger brechbaren Linien gering ist, erwünscht, da die dauernde Aufbewahrung einer solchen zuverlässigen Fixirung des Experiments ausserordentlich werthvoll ist.

Alle Versuche wurden, um die photographischen Resultate vergleichbar zu machen, mit Anwendung von Inductionsströmen ausgeführt.

Zur Erzeugung der niedrigsten Temperatur bediente ich mich einer Inductionsrolle und einer Leydener Flasche, die eben hinreichten, um eine photographische Wirkung hervorzubringen. Zur Erzeugung der höchsten Temperatur benutzte ich die stärkste Inductionsrolle und die grösste Flasche, die mir zu Gebote stand. Den Funken liess ich zwischen zwei Aluminiumelectroden

überspringen, deren unterer ausgehöhlt war und zur Aufnahme eines Calciumsalzes diente.

In der Figur gebe ich genaue Abbildungen der erhaltenen Resultate. Wie man sieht, erschien bei der niedrigsten Temperatur nur die einfache Linie (2), bei der höchsten Temperatur dagegen nur die stärker brechbare Doppellinie (6) auf der Platte.

Dies beweist, dass die Stärke der Schwingungen in beiden Fällen durchaus verschieden war.

Als ich dies Resultat der Royal Society mittheilte*,

* Diese vorläufige Mittheilung lautete folgendermaassen (Proc. Royal Society, Jahrg. 1876, Nr. 168):

In einer frühern Mittheilung (Proc., Jahrg. 1874, XXII, 380) berührte ich kurz die Möglichkeit, dass die bekannten Linienspectra der einfachen Körper nicht durch die Schwingungen gleichartiger Moleküle erzeugt werden. Bei dieser Gelegenheit machte ich namentlich auf die Verschiedenheit der Spectra gewisser Elemente aufmerksam, die zu bemerken sind, je nachdem dieselben nach den gewöhnlichen Methoden in terrestrischen Lichtquellen oder im Sonnenspectrum beobachtet werden.

Jetzt habe ich Gewissheit darüber, dass die Molekulargruppe des Calciums, welche bei schwachem Inductionsstrom und kleiner Flasche ein Spectrum mit der Hauptlinie im Blau gibt, in der Sonne nahezu und in einem starken Inductionsfunken vollständig in eine oder mehrere andere Gruppen zersetzt ist, welche Linien im Violett geben.

Ich sage ausdrücklich „eine oder mehrere andere“, da ich noch nicht im Stande gewesen bin, zu erforschen, ob die letztern Linien durch dasselbe oder durch verschiedene Moleküle erzeugt werden. Möglicherweise können wir diese Frage nicht entscheiden, bevor wir Photographien der hellern Sterne besitzen.

Dies Resultat setzt uns in den Stand, mit ziemlicher Bestimmtheit die Bedingungen der elektrischen Dissociation zu bestimmen, welche demjenigen Grade der Dissociation entsprechen, welcher auf der Sonne herrscht.

Ich bitte um die Erlaubniss, folgenden Brief von Stokes und meine Antwort auf denselben hier beifügen zu dürfen:

Den 3. März 1876.

Lieber Lockyer! — Es ist Ihnen vielleicht angenehm, wenn ich Ihnen das Wesentliche über meine gestern Abend

war Professor Stokes, der zwar diese neuen Experimente als einen unwiderleglichen Beweis der ausser-

gemachten Beobachtungen über die Dissociation des Calciums mittheile.

Wenn ein fester Körper, z. B. ein Platindraht, durch Einschalten in den Schliessungsbogen eines galvanischen Stroms glühend gemacht wird, so wächst, wie wir wissen, mit zunehmender Temperatur nicht nur die Strahlung jeder bestimmten Brechbarkeit absolut, sondern es ändert sich auch das Verhältniss der Strahlungen der verschiedenen Brechbarkeiten, indem die Strahlung stärkerer Brechbarkeit über die schwächere vorherrscht. Jedenfalls wird die Annahme gestattet sein, dass im allgemeinen dasselbe bei einer glühenden Fläche der Fall ist, nur dass das Spectrum kein continuirliches, sondern ein discontinuirliches ist. Bezeichnen z. B. *A*, *B*, *C*, *D*, *E* helle Linien von zunehmender Brechbarkeit in dem Spectrum des Dampfes, so wäre es sehr leicht möglich, dass bei einer verhältnissmässig niedrigen Temperatur *A* die hellste und beständigste Linie wäre. Bei einer höhern Temperatur, bei der alle Linien heller sind, könnte die relative Helligkeit verändert und *C* die hellste Linie, bei einer noch höhern Temperatur endlich könnte vielleicht *E* die relativ hellste Linie sein. Würde nun in jedem einzelnen Falle das Spectrum bis zum Verschwinden aller Linien, mit Ausnahme einer einzigen, reducirt, so würde vermuthlich die übrigbleibende Linie bei der niedrigsten Temperatur *A*, bei höherer *C*, bei der höchsten *E* sein. Wenn nun der Dampf seine Anwesenheit nicht durch Strahlung, sondern durch Absorption bemerkbar macht, so folgt aus der Beziehung zwischen Absorption und Emission, dass die dunkle Linie, welche die Anwesenheit des fraglichen Elements am empfindlichsten anzeigt, bei einer gewissen Temperatur *A*, bei einer andern *C*, bei einer dritten *E* sein würde. Während ich daher die von Ihnen angeführten Thatsachen als einen Beweis für die hohe Temperatur der Sonne anerkenne, betrachte ich dieselben nicht als einen entscheidenden Beweis für die Dissociation des Calciums.

Ihr u. s. w.

G. G. Stokes.

Den 5. März 1876.

Lieber Professor Stokes! — Ich war nicht auf ihren Einwurf vorbereitet, dass es nicht das normale, sondern das abnorme Verhalten von *C* war, mit dem ich es zu thun hatte.

ordentlich hohen Temperatur der Sonne anerkannte, nicht geneigt, die vollständige Dissociation eines Elements anzunehmen. Er gab die Gründe für seine Ansicht an und ich erwiderte auf dieselben. Ich muss zu meinem Bedauern sagen, dass die mir zur Verfügung stehenden Instrumente bisjetzt nicht ausreichend waren, um die Sache in der von mir beabsichtigten Weise zu prüfen, nämlich durch Aufnahme von Photographien der hellern und daher vermuthlich heissern Sterne. Allein Huggins ist es gelungen, eine solche Photographie herzustellen. Derselbe theilte in einer Versammlung der Physical Society auf eine meinerseits gestellte Anfrage mit, dass in dem Spectrum des Sterns α in der Leier nur eine der beiden Sonnenlinien H vorhanden ist. Sollte dies Resultat durch weitere Beobachtungen bestätigt werden, so ist die Frage als entschieden zu betrachten und zwar in dem durch die Experimente angedeuteten Sinne.

D ist dunkler als irgendeine andere Natriumlinie, und H in der Chromosphäre auf dem Calciumniveau ist roth, während sie in der Corona grün ist, d. h. die weniger und nicht die stärker brechbare Linie wird durch Zunahme der Temperatur entwickelt.*

Nichtsdestoweniger bin ich Ihnen für ihren Einwurf dankbar, und sobald mir eine stärkere Inductionsrolle zur Verfügung steht, will ich die Sache so genau als möglich untersuchen.

Sind Sie überzeugt, dass die molekulare Structur des Platindrahts während des von Ihnen angegebenen Verhaltens constant ist?

Ich bitte Sie um die Erlaubniss, Ihren Brief und diese Erwiderung in den „Proceedings“ zu veröffentlichen, da dies den Werth meiner Mittheilung erhöhen wird.

Ihr u. s. w.

J. N. Lockyer.

* Der Punkt, auf den es ankommt, ist der, welches die beständigste Linie bei einer bestimmten Temperatur ist, d. h. welche zuletzt verschwindet, wenn die Menge der erzeugenden Substanz nach und nach vermindert wird. Lockyer selbst hat gezeigt, dass, wenn genug Substanz vorhanden ist, um mehrere Linien zu zeigen, die hellste keineswegs auch die beständigste ist.

Es ist vielleicht nicht überflüssig, wenn ich hier die Gründe anführe, die mich veranlassten, die Sterne zur Bestätigung dieser Untersuchungen zu Hülfe zu nehmen.

Es ist sehr einleuchtend, dass, wenn die sogenannten Elemente, oder besser gesagt, ihre feinsten Atome — diejenigen, welche Linienspectra erzeugen — wirklich zusammengesetzt sind, sich diese Verbindungen bei einer ausserordentlich hohen Temperatur gebildet haben müssen. Man kann sich leicht vorstellen, dass für die Temperatur keine obere Grenze existirt und also auch keine obere Grenze, über welche hinaus solche Verbindungen möglich sind. Daher existiren die Atome, welche das Vermögen besitzen, sich bei diesen überaus hohen Temperaturstufen zu vereinigen, bei allen niedrigeren Temperaturen nicht als solche, sondern in Verbindung mit andern Atomen. Daher vereinigen sich die Atome zu um so complicirtern Molekülen, je niedriger die Temperatur ist, während es andererseits für die Dissociation bei steigender Temperatur keine Grenze gibt.

Dies ist der eine Gesichtspunkt, der hier in Betracht kommt. Der zweite ist der folgende.

Wir sind zu der Annahme berechtigt, dass unser Calcium, nachdem es einmal gebildet ist, ein vollkommen bestimmtes Wesen ist, gleichviel ob es ein Element ist oder nicht. Haben wir es daher mit Calcium allein zu thun, so werden wir nie wissen, selbst, wenn in der Zukunft die Dissociation unzweifelhaft nachgewiesen wird, ob die Temperatur eine einfachere Form oder einen mehr atomistischen Zustand desselben Dings bewirkt, oder ob wir dasselbe wirklich in zwei Bestandtheile $X + Y$ zerlegen, da sich weder X noch Y ändert.

Wenn dagegen das Calcium das Product einer verhältnissmässig niedrigen Temperaturbedingung ist, so können wir erwarten, dass in denjenigen Sternen, die heiss genug sind, dass die Bestandtheile isolirt nebeneinander existiren können, die Menge dieser Bestandtheile eine schwankende ist. Es kann in dem einen Stern mehr von dem Bestandtheil X , in dem andern

mehr von Y enthalten sein. Wenn dies wirklich der Fall ist, so wird die Dicke der Linien H und K veränderlich sein und die äussersten Grenzfälle dieser Veränderlichkeit werden die sein, dass ein Stern nur die Linie H , die den einen Bestandtheil, sagen wir X , anzeigt, ein anderer dagegen nur die dem andern Bestandtheil Y zugehörige Linie K zeigt. Innerhalb dieser beiden Grenzfälle werden wir zahlreiche andere haben, in denen zwar H und K gleichzeitig vorhanden sind, aber so, dass bald die eine, bald die andere Linie dicker ist.

Nun besitzen wir nach meiner Auffassung der Huggins'schen Photographie in der That einen solchen Grenzfall in dem Stern α der Leier. Dies bedarf selbstverständlich der Bestätigung. Es ist jedenfalls interessant, dass die Vergleichung der allerersten von Huggins gewonnenen Photographie gezeigt hat, von welcher ausserordentlichen Wichtigkeit weitere in diesem Sinne anzustellende sorgfältige Beobachtungen sind.

Es gereicht mir zu grosser Genugthuung, dass die niederländische Gesellschaft der Wissenschaften durch Aussetzung eines Preises für Fortsetzung dieser Untersuchungen andere Forscher für dieselben zu interessiren versucht hat. Als einen Wink für diejenigen, welche geneigt sein möchten, sich mit diesem Gegenstand zu beschäftigen, will ich noch die Bemerkung hinzufügen, dass die Spectra von Lithium und Magnesium einige Anomalien zeigen, welche diese Metalle als dankbare Objecte für diese Untersuchungen erscheinen lassen.

ACHTES KAPITEL.

Versuch einer quantitativen Spectralanalyse.

§. 1. *Einleitung.*

Sowol in Frankreich als auch in Deutschland hat man Versuche gemacht, das Spectroskop zur quantitativen Bestimmung derjenigen Substanzen zu benutzen, zu deren Erkennung dasselbe dient. Wenn auch die erhaltenen Resultate bisjetzt noch nicht hinreichend sind, um allgemein anwendbare Methoden aus denselben herzuleiten, so unterliegt es doch keinem Zweifel, dass das Spectroskop in Zukunft den übrigen Künsten und Wissenschaften solche Dienste leisten wird.

Was den praktischen Nutzen anbelangt, so können wir sicher sein, dass die Anwendungen der Wissenschaft um so zahlreicher sein werden, je klarer die Grundlagen derselben sind. Was die Anwendung der abstracten Ideen der Spectralanalyse in den Künsten betrifft, so dürfen wir nicht nur einen bedeutenden Nutzen für die Künste selbst, sondern, was für den Mann der Wissenschaft viel werthvoller ist, eine reiche Ausbeute von rein wissenschaftlichen Resultaten erwarten. Denn wenn das Spectroskop in den Eisengiessereien und in andern industriellen Werkstätten eine alltägliche Anwendung findet, so werden sich auch für jeden Theil des Spectrums, welcher in dieser praktischen Verwerthung der Optik Anwendung findet, neue wissenschaftliche Resultate ergeben.

Wäre die Frage nach Anwendung des Spectroskops zu quantitativen Bestimmungen nicht von rein theoretischem Standpunkte aus angeregt worden, so lässt sich schwer sagen, wie sie überhaupt in Anregung gebracht worden wäre. Das Werk von Kirchhoff und Bunsen enthält keine Andeutung über quantitative Bestimmungen, sondern handelt ausschliesslich über qualitative Bestimmungen.

Die erste Anregung zum Gebrauch des Spectroskops zu quantitativen Bestimmungen hat meines Wissens Janssen gegeben. Nach ihm beschäftigte sich Vierordt mit demselben Gegenstande.

Die von mir befolgte Methode unterscheidet sich wesentlich von der von den genannten Gelehrten befolgten. Da die einzelnen Schritte, durch welche ich zu derselben gelangte, vielleicht für manchen Leser als ein Beispiel, wie sich aus einer theoretischen Untersuchung praktische Anwendungen ergeben, von Interesse sein dürften, so will ich dieselben hier kurz zusammenstellen, obwol dieselben einzeln an verschiedenen Stellen des Buchs angeführt worden sind.

Die ersten spectroskopischen Untersuchungen von Kirchhoff und Bunsen bilden mit den bis in das Jahr 1852 zurückreichenden Beobachtungen von Stokes einen ungeheuern Fortschritt und erregten in der ganzen wissenschaftlichen Welt ungeheueres Aufsehen.

Kirchhoff und Bunsen zeigten, dass feste und flüssige Körper stets dasselbe Spectrum liefern, dass also das Spectroskop nicht zur Analyse irgendeines festen oder flüssigen Körpers dienen kann, dass dagegen, wenn sich die Elemente im gasförmigen Zustand befinden, für keine zwei Substanzen die Spectrallinien zusammenfallen. Hiermit war die Möglichkeit einer neuen Methode der qualitativen Analyse gegeben. Diese Untersuchungen wurden später namentlich auch in England fortgesetzt. Dr. Frankland zeigte, dass der molekulare Zustand des Wasserstoffs, wenn auch der Aggregatzustand unverändert bleibt, unter verschiedenen

Bedingungen verschieden und dass der Satz Kirchhoff's nicht mehr für ein Gas gültig ist, welches einem hohen Druck ausgesetzt ist. Ich will nicht unbemerkt lassen, dass sich dies rein wissenschaftliche Resultat bei Gelegenheit von Untersuchungen ergab, welche die Beleuchtung von London betrafen. Frankland zeigte, dass bei einem Druck von zehn bis zwanzig Atmosphären das Spectrum des Wasserstoffs ebenso continuirlich ist als das Spectrum einer glühenden Kohle oder irgendeiner andern leuchtenden Substanz im festen oder flüssigen Zustand.

Hier hatte man es offenbar mit einer Unregelmässigkeit zu thun. Wenn aber in der Wissenschaft von einer Unregelmässigkeit, von einer Ausnahme gesprochen wird, so geschieht dies in neun unter zehn Fällen deshalb, weil die Regel, das Gesetz nicht bekannt ist. Ich hoffe im Stande zu sein, zu zeigen, dass diese Unregelmässigkeit in Wirklichkeit gar keine Unregelmässigkeit war, sobald man sie nur von einem allgemeineren Gesichtspunkt aus betrachtete. Welches ist nun dieser allgemeinere Gesichtspunkt? Bevor ich denselben genauer bezeichne, will ich zunächst an eine andere von Plücker und Hittorf ausgeführte Arbeit erinnern, die ebenfalls den Wasserstoff betrifft und deren Ergebniss darin besteht, dass unter gewissen Bedingungen — der Druck, den sie anwandten, war viel niedriger als der von Frankland angewandte — die Linien des Wasserstoffspectrums zuweilen sehr dick, zuweilen sehr dünn sind. Plücker und Hittorf erkannten nicht die wahre Ursache dieser Veränderlichkeit; dass dieselbe existirte, unterlag indess keinem Zweifel.

Die Arbeiten von Kirchhoff, Frankland, Plücker und Hittorf ergaben also zusammen das Resultat, dass feste und flüssige Körper ein continuirliches, Gase dagegen ein discontinuirliches Spectrum, d. h. helle Linien geben. Jetzt kam die Arbeit Frankland's zu diesen Arbeiten hinzu.

Bei einem sehr hohen Druck gibt der Wasserstoff

keine Spur von hellen Linien, sondern ein vollkommen continuirliches Spectrum. Nun zeigten Plücker und Hittorf, dass aus einer nicht näher bekannten Ursache — sei es Druck oder Temperatur — die Wasserstofflinien, bei einem viel niedrigeren Druck beobachtet, ihre Dicke verändern.

Dies war ungefähr der Zustand der Spectralanalyse, als man anfang, die Sonne sehr sorgfältig spectroscopisch zu untersuchen. Im Jahre 1868 wurde zum ersten mal eine neue Methode angewandt, mit Hülfe derer man die die Sonne umgebenden Gashüllen beobachten konnte. Es zeigte sich, dass sich in diesen Gasen ungeheuer Massen von Wasserstoff befanden. Es bot sich also eine günstige Gelegenheit, den Wasserstoff in der Sonne zu beobachten.

Die rothe Linie im Spectrum des Wasserstoffs in der Sonne war eine vollkommen gerade Linie und zeigte ein abweichendes Verhalten von der andern Linie im Grün. Die letztere wird breiter, je mehr wir uns der Sonne nähern, sie besitzt eine trompetenartige Gestalt.

Nachdem man diese Beobachtung gemacht hatte, entstand die Frage, wie sich die Verbreiterung dieser Linie mit den erwähnten Beobachtungen von Plücker und Hittorf in Einklang bringen lässt. Nichts war leichter als dies.

Wir wissen, dass auf der Spitze eines Bergs der Luftdruck geringer ist als am Fusse desselben. Ebenso können wir uns leicht vorstellen, dass der Druck des Wasserstoffs, welcher unserer Luftatmosphäre entspricht, unmittelbar auf der Oberfläche der Sonne bedeutender ist als in den höhern Schichten desselben. Wir müssen nur bedenken, dass der Druck des Wasserstoffs auf der Oberfläche bedeutend grösser ist als der Druck in den obern Theilen der Wasserstoffschicht. Diese Beobachtung in Verbindung mit den Untersuchungen Frankland's geben uns sofort die Erklärung für die Beobachtungen Plücker's und Hittorf's.

Frankland zeigte, dass ein erhöhter Druck ein con-

tinuirliches Spectrum erzeugt. Ein Breiterwerden der Linien bildet aber eine Annäherung an ein continuirliches Spectrum. Der Zweifel, der aus der Unbestimmtheit der Beobachtung Plücker's und Hittorf's hervorgeht, wird durch diese Sonnenbeobachtung beseitigt, wenn man die Annahme macht, dass die Linien des Wasserstoffspectrums bei zunehmendem Druck breiter werden, bis schliesslich bei einem Druck von zwanzig Atmosphären das Spectrum continuirlich wird.

Ich habe bereits auf das auf Tafel II dargestellte Spectrum des Magnesiums und das Spectrum der Sonnenchromosphäre aufmerksam gemacht. Beobachten wir nun nach der erwähnten Methode das Spectrum des Magnesiumdampfs, welcher die Sonne umgibt, so finden wir, dass die Linien des Magnesiums nicht dieselbe Höhe erreichen wie die Linien des Wasserstoffs. Wir haben drei Linien, von denen zwei sehr lang sind, während die dritte viel kürzer ist. Wie lässt sich diese Erscheinung erklären? Wie können wir diese Beobachtung mit den erwähnten Beobachtungen über das Wasserstoffspectrum in Einklang bringen?

In der folgenden Weise. Bei wachsendem Druck werden die Wasserstofflinien breiter. Zunahme des Drucks macht die Linien des Magnesiums nicht nur breiter, sondern vermehrt auch die Anzahl derselben. Dieses sind die beiden Beobachtungen über die Sonnenchromosphäre, welche die Grundlage meines Versuchs einer quantitativen Spectralanalyse bilden. Mit dieser einfachen Erklärung der Beobachtung über den Wasserstoff und das Magnesium durfte man sich indess nicht begnügen.

Es wurden daher Versuche angestellt, und es gelang Dr. Frankland und mir, einige sehr einfache Experimente zu finden, die uns in den Stand setzten, zu entscheiden, ob die Annahme richtig oder falsch ist. Um die Frage hinsichtlich des Wasserstoffs zu entscheiden, hatten wir weiter nichts zu thun als eine Röhre mit Wasserstoff zu füllen, dieselbe mit einer Luftpumpe in

Verbindung zu setzen, den Wasserstoff auszupumpen und zu beobachten, ob bei abnehmendem Druck die Linien des Wasserstoffs dünner wurden. Sie wurden in der That dünner.

Eine andere Reihe von Experimenten bestand darin, dass wir ein ähnliches Rohr nahmen wie im erstern Falle, aber, anstatt den Wasserstoff aus demselben herauszupumpen, Wasserstoff in dasselbe hineinpumpten. Wir beobachteten in der That ein Breiterwerden der Linien bis zum Entstehen eines continuirlichen Spectrums.

Auch hinsichtlich des Magnesiumdampfs war die Frage durch einen einfachen Versuch zu entscheiden. Wir nahmen ein Rohr mit Magnesiumelectroden und beobachteten das Magnesiumspectrum, während der Druck der Atmosphäre, in welcher sich die Electroden befanden, nach und nach vermindert wurde. Wenn es richtig ist, dass das Magnesiumspectrum mit abnehmendem Druck einfacher wird, so müssen die Magnesiumlinien, die wir bei einem Druck von einer Atmosphäre beobachten, in Dicke und Zahl oder gleichzeitig in beider Hinsicht abnehmen, wenn der Druck bis auf zehn Millimeter oder bis auf ein Millimeter vermindert wird. Dies wurde wirklich beobachtet, und so war also die Richtigkeit der Hypothese bewiesen.

Seit diesen ersten Experimenten sind zahlreiche Untersuchungen ausgeführt worden, welche zeigen, dass es die Verminderung des Drucks ist, die bei diesen Beobachtungen berücksichtigt werden muss.

Was bedeutet nun eine Verminderung des Drucks? In jedem Raum befindet sich atmosphärische Luft, und was ist atmosphärische Luft? Nehmen wir an, sie sei eine Anhäufung von Molekülen. Was thun wir also, wenn wir den Druck in einem Raum vermindern? Wir entfernen die Moleküle voneinander. Wenn wir dagegen den Druck vergrössern, so nähern wir die Moleküle und vermehren die Anzahl der Zusammenstösse derselben.

Das angeführte Experiment zeigt uns nun, dass, wenn wir in dem letztern Sinne auf die Moleküle einwirken, das Spectrum complicirter wird, dass die Dicke und die Anzahl der Linien wächst. Wenn wir dagegen die Moleküle voneinander entfernen, so werden die Linien dünner und das Spectrum wird einfacher.

Wir können noch weiter gehen und folgende Behauptung aufstellen. Wenn wir im Stande wären, ein einziges Atom einer Substanz zu erhalten und vermittels seines Spectrums die Schwingungen desselben zu beobachten, so würden wir von dem einzelnen Atom eine einzige Linie erhalten, wenn dasselbe dem Zustand der Ruhe möglichst nahe ist. Diese Linie nennen wir die „Fundamentallinie“ dieses bestimmten Atoms, sei es Wasserstoff, Natrium, Barium oder irgendein anderes Element. Durch Trennung der Atome einer bestimmten chemischen Substanz erhalten wir eine einzige Linie.

Was ist der Erfolg, wenn wir die Atome näher zusammenbringen? Die Linien werden dicker oder die Anzahl derselben wird grösser. Das Spectrum wird complicirter, und zwar bei einigen Elementen durch Breiterwerden der Linien, bei andern — und dies ist ein wesentlicher Unterschied — durch Vergrösserung der Anzahl der Linien. Wenn die Moleküle nahe beieinander sind, so erhalten wir das complicirteste Spectrum, sind die Moleküle dagegen weit voneinander entfernt, so erhalten wir für jede chemische Substanz, die wir untersuchen, als Spectrum eine einzige Linie.

Es würde daher ein grosser Fortschritt sein, wenn wir im Stande wären, die Atome und Moleküle einer Substanz so zu trennen, dass wir eine vollständige Reihe von Spectren von der einzelnen Linie bis zum complicirtesten Spectrum erhielten. Zwischen demjenigen Zustand des Eisens, in welchem das Spectrum desselben aus einer einzigen Linie besteht, und demjenigen Zustand, in welchem das Spectrum 460 Linien enthält, erkennen wir vermittels des Spectroskops Zwischenstufen, in denen das Spectrum nur einen Theil

jener 460 Linien enthält. Dies ist quantitative Spectralanalyse.

Das Titelbild stellt eine Photographie vor, welche zeigt, warum diese Arbeit zuerst in Beziehung auf das Sonnenspectrum vorgenommen wurde, die jetzt dieses beschränkte Gebiet verlassen hat und sich mit manchen Dingen beschäftigt, die durchaus in keinem unmittelbaren Zusammenhang mit dem Sonnenspectrum stehen. Die Tafel zeigt, dass in dem Sonnenspectrum sozusagen eine ausserordentliche Individualität herrscht. Die Linien sind keineswegs von gleicher Dicke. Die beiden dicken Linien in der Mitte sind durch die Absorption des Calciumdampfs in der Sonnenatmosphäre verursacht, die zwischen und ausserhalb dieser beiden Linien liegenden sind, soviel wir jetzt wissen, durch Kobalt, Nickel, Aluminium und andere Metalle der Sonnenatmosphäre erzeugt.

Einige dieser Linien sind ausserordentlich dünn. Ich habe bereits erwähnt, dass bei dem Uebergang von dem ungestörten Atom zu demjenigen Atom, welches sozusagen der Reflexwirkung ausgesetzt ist, die Linien im Spectrum an Breite und Anzahl zunehmen. Als Kirchhoff und Bunsen das Resultat ihrer Untersuchung in dem Satz zusammenfassten, dass feste und flüssige Körper continuirliche, die Gase dagegen discontinuirliche Spectra geben, so war es das Sonnenspectrum, in Hinsicht auf welches diese Untersuchung unternommen war. In derselben Abhandlung zeigten sie, dass eine grosse Anzahl von Substanzen, die uns wohlbekannt sind, in der Sonne vorhanden sind, z. B. Wasserstoff, Natrium, Magnesium, Eisen, Nickel, Kobalt, Chrom und andere Elemente. Ebenso beobachteten sie bei einer Vergleichung der dunkeln Sonnenlinien mit den hellen Linien des erzeugenden Metalls die bemerkenswerthe Thatsache, dass nicht sämmtliche Linien umgekehrt waren.

Das Eisenspectrum z. B. besteht aus 460 hellen Linien. Im Sonnenspectrum dagegen finden wir nur etwa 455

dunkle Linien, die mit Eisenlinien zusammenfallen. Ebenso zeigt das Sonnenspectrum nur zwei dunkle Linien, welche die Umkehrung von Magnesiumlinien bilden. Kirchhoff glaubte, dass diese Erscheinung darin ihren Grund habe, dass nur die hellsten Linien umgekehrt würden; schwache Linien dagegen aus irgendeinem unbekannten Grunde im Sonnenspectrum nicht beobachtet würden.

Später beschäftigte sich Ångström mit diesem Gegenstand und beobachtete die Anwesenheit einiger anderer Metalle in der Sonne, allein er war nicht im Stande, die Thatsache zu erklären, dass von den etwa dreissig Linien des Aluminiums nur zwei im Sonnenspectrum umgekehrt waren, während von allen übrigen auch nicht eine Spur zu bemerken war. Jetzt ist nachgewiesen, dass in demjenigen bestimmten Theil des Sonnenspectrums, in welchem man den Magnesiumlinien begegnet, drei dunkle Linien beobachtet werden, welche durch Absorption des Magnesiumdampfs erzeugt werden, während wir in künstlich erzeugtem Magnesiumdampf die beiden am wenigsten brechbaren Linien beobachten, die in viel weiterer Entfernung von der Quelle des Dampfs zu bemerken sind als die dritte, schwächere und stärker brechbare Linie. Stellen wir uns vor, der Druck des Magnesiumdampfs in der Sonnenchromosphäre würde vermindert. Was würde die Folge sein? Wir würden keine dunkle Linie im Sonnenspectrum beobachten, die durch die Absorption des Magnesiumdampfs erzeugt wird. Dies ist die Erklärung der Thatsache, dass wir von allen Substanzen, deren Anwesenheit in der Sonne nachgewiesen ist, nur etwa zehn Procent der Linien beobachten.

Diese Gruppe von Thatsachen habe ich bereits in einem andern Kapitel eingehender besprochen, und da ich auch die Methode zur Erzeugung langer und kurzer Linien erwähnt habe, will ich sofort dazu übergehen, zu erklären, auf welche Weise ein quantitatives Resultat erreicht wird. Dasselbe ergibt sich ohne weiteres, vor-

ausgesetzt, dass die Behauptung richtig ist, dass viel Calcium in der Sonne enthalten ist, weil die Calciumlinien dick sind, und dass nicht viel Aluminium in der Sonne vorhanden ist, weil nicht alle Aluminiumlinien umgekehrt und die wenigen umgekehrten dünn sind. Beobachten wir das Spectrum einer Substanz, z. B. von Strontium, und erhalten gewisse Linien von dem dichten Dampf des reinen Metalls, und beobachten wir sodann anstatt des Spectrums des Metalls das Spectrum einer chemischen Verbindung, etwa des Chlorids oder des Iodids, so müssen wir von der Verbindung weniger Linien erhalten als von dem reinen Metall. Dies ist durch das Experiment bestätigt worden. Es ist vollkommen richtig, dass wir unter gleichen Bedingungen von irgendeinem Strontiumsalz weniger Linien erhalten als von dem Metall selbst. Dies gilt nicht nur vom Strontium, sondern von jedem beliebigen Metall.

Es fragt sich nun, welche Linien wir erhalten müssen, die langen oder die kurzen. Wir müssen die langen Linien erhalten, da die kurzen nur durch einen dichten Dampf erzeugt werden. Ja wir können mit ziemlicher Bestimmtheit die Beschaffenheit der Spectra der Salze eines Metalls voraussagen, wenn wir das Atomgewicht des Metalloids kennen, welches mit dem Metall chemisch verbunden ist, vorausgesetzt, dass die Flüchtigkeit der Verbindungen gleich ist. Dies ist ein Schritt. Wir haben jetzt dasselbe Spectrum von einer chemischen Verbindung, welches wir vorher durch Verminderung des Drucks erhielten.

Es entsteht nun die weitere Frage, wie sich mechanische Gemenge verschiedener Elemente in dieser Beziehung verhalten.

§. 2. *Die ersten Versuche.*

Um diese Frage zu beantworten, wurde eine Reihe von mechanischen Metallgemischen, Legirungen, dargestellt.

Eine vorläufige Untersuchung der Spectra einiger Amalgame von Zinn und Magnesium ergaben bereits das erwartete Resultat, dass sich die Gemische den Verbindungen ähnlich verhalten.

So fand ich z. B., dass es möglich ist, mit einer Legirung zu beginnen, welche nur die längste Linie oder die längsten Linien des Spectrums desjenigen Bestandtheils geben, der in geringerer Menge in der Legirung enthalten ist. Die übrigen Linien können wir dann durch Vermehrung dieses Bestandtheils in der Ordnung ihrer Länge in das Spectrum einführen. Diese Reaction ist so empfindlich, dass ich aus ihr etwas lernte, was ich früher noch nicht beobachtet hatte, dass nämlich die am wenigsten brechbare Linie der dreifachen Magnesiumlinie *b* ein wenig länger ist als die stärker brechbaren Begleiter, denn unter Anwendung besonderer Vorsichtsmaassregeln gelang es, durch die geringste Menge von Magnesium das Spectrum bis auf diese einzige Linie zu reduciren.

Aus diesen Versuchen ergab sich, dass die Spectralanalyse nicht nur bei denjenigen Elementen, bei denen der Unterschied zwischen der längsten und kürzesten Linie sehr gering ist, bedeutend empfindlicher ist als man bisher angenommen hatte, sondern dass dieselbe auch zur quantitativen Bestimmung der Elemente benutzt werden kann. Denn wenn eine Beimischung gewisser anderer Körper die kürzern Linien der Metallspectra auslöschen, so wird uns eine Reihe sorgfältig ausgeführter Zeichnungen der Spectra von Metallegirungen, von denen das Verhältniss der Bestandtheile bekannt ist, in den Stand setzen, durch den blossen Anblick des Spectrums das Verhältniss der in einer Legirung enthaltenen Bestandtheile annähernd zu bestimmen.

Nach diesen vorläufigen Versuchen mit Amalgamen wurden für weitere Versuche Gemische in folgender Weise dargestellt.

§. 3. *Zweite Versuchsreihe.*

Eine Menge des vorherrschenden Bestandtheils, gewöhnlich fünf bis zehn Gramm, wurde bis auf einen Bruchtheil eines Milligramms genau abgewogen und die Menge des andern Bestandtheils so berechnet, dass ein Gemenge von einem bestimmten Procentgehalt dem Gewicht nach erhalten wurde. Dies ist leichter ausführbar als die Darstellung einer Legirung von bestimmtem Procentgehalt dem Volum nach.

Die in der Regel angewandten Mengen entsprachen einem Gehalt von 10, 5, 1 und 0,1 Procent.

Nur bei einigen Metallen, die eine sehr empfindliche Spectralreaction zeigen, wurde eine Mischung von 0,01 Procent Gehalt dargestellt.

Der vorherrschende Bestandtheil wurde dann in einen Tiegel (den Kopf einer gewöhnlichen Thonpfeife) eingetragen. Dann wurde derselbe durch einen Bunsen'schen Brenner erhitzt, während durch ein Rohr reiner, trockener Wasserstoff in denselben eingeleitet wurde.

Sobald das Metall geschmolzen war, wurde das zweite Metall, dessen Spectrum untersucht werden sollte, in den Tiegel eingetragen, ohne dass der Wasserstoffstrom unterbrochen wurde, die Hitze gesteigert, bis das hinzugesetzte Metall vollständig geschmolzen war. Um eine möglichst grosse Gleichförmigkeit der Mischung zu erzeugen, wurde dann der Tiegel heftig geschüttelt oder das Rohr, durch welches der Wasserstoff zugeleitet wurde, in das flüssige Metall eingetaucht, sodass die Wasserstoffblasen dasselbe passiren mussten.

Nachdem so der Inhalt des Tiegels vollkommen gemischt war, wurde derselbe ausgegossen. Von der so dargestellten Legirung wurde dann eine Spitze in dem Funkenhalter befestigt und derselben ein Pol aus demjenigen Metall gegenübergestellt, welches die Hauptmasse der Legirung bildete. So wurde einer Legirung aus 90 Theilen Zinn und 10 Theilen Cadmium ein

Zinnpol, einer Legirung von 90 Theilen Blei und 10 Theilen Zink ein Bleipol gegenübergestellt.

Es ist von Wichtigkeit, dass jeder Electrode einer Mischung als Gegenpol das reine Metall gegenübergestellt wird, welches in der Legirung vorherrscht. Die langen und kurzen Linien dieses Bestandtheils durchziehen dann das Spectrum von einem Rande bis zum andern, während die Linien des geringern Bestandtheils je nach der Stellung der Legirung in dem Funkenhalter nur an dem obern oder untern Rande des Spectrums erscheinen.

Dann wurde das Spectrum jeder einzelnen Probe beobachtet und das Resultat in folgender Weise aufgezeichnet. Zuerst wurde das Spectrum des reinen Metalls, welches den geringern Bestandtheil bildete, beobachtet und die Linien im allgemeinen nach Thalén's Tafeln aufgezeichnet.

Dann wurde das Gemisch vom höchsten Procentgehalt des zu untersuchenden Metalls in dem Funkenhalter befestigt, ein Pol aus dem beigemischten Metall gegenübergestellt und das Spectrum beobachtet. Derselbe Versuch wurde dann mit allen Proben bis zu derjenigen mit dem geringsten Procentgehalt ausgeführt.

Folgende Legirungen wurden in dieser Weise untersucht:

<i>Sn</i> + <i>Cd</i> ,	Procente von <i>Cd</i>	10,	5,	1,	0,15,
<i>Pb</i> + <i>Zn</i> ,	„ „ <i>Zn</i>	10,	5,	1,	0,1,
<i>Pb</i> + <i>Mg</i> ,	„ „ <i>Mg</i>	10,	1,	0,1,	0,01.

Ich wählte diese Metalle wegen ihrer leichten Schmelzbarkeit, da diese die Darstellung der Legirungen in der angegebenen Weise erleichterte.

Aus den Zeichnungen ging hervor, dass die Linien in dem Grade verschwanden, in welchem der geringere Bestandtheil an Menge abnahm. Diese Experimente bieten uns also die Grundlage einer quantitativen Spectralanalyse, allerdings nicht mehr als die Grund-

lage, da wegen der Existenz einiger „kritischen Punkte“*, sowie grosser Schwankungen, die durch andere Umstände verursacht wurden, die Resultate nicht bestimmt und constant genug waren, um eine praktische Anwendung der Methode zu gestatten.

Aus weitem Untersuchungen gewann ich indess bald die Ueberzeugung, dass diese Methode der Elimination der Linien nicht die einzige ist, die mit Vortheil angewandt werden kann.

§. 4. *Weitere Beobachtungen.*

Nachdem ich die zweite Abhandlung der Royal Society eingesandt hatte, begann ich daher eine Reihe von Beobachtungen, deren Zweck war, nicht nur das Verschwinden der Linien, sondern auch andere allgemeine Veränderungen, die sich bieten mochten, zu beobachten. Zu diesem Zwecke versah ich das Ocular des Beobachtungsfernrohrs mit einem Mikrometer. Durch dasselbe war ich in den Stand gesetzt, die folgenden Erscheinungen zu beobachten, in denen durch Aenderung der Zusammensetzung eine Aenderung der übrigbleibenden Linien bewirkt wurde.

I. Die Länge der Linien änderte sich mit dem Gehalt der Mischung an demjenigen Element, welches die Linien erzeugte.

II. Einige Linien änderten beträchtlich ihre Dicke und Helligkeit oder beides gleichzeitig.

III. Wurde die Helligkeit einer Linie für eine grosse Reihe von Gemischen von verschiedener procentischer Zusammensetzung durch Vergleichung mit einer Luftlinie geschätzt, so wurde die letztere schwächer und verschwand zuletzt, wenn die Helligkeit der mit ihr verglichenen Linie zunahm.

* Phil. Trans. (1873), p. 261.

IV. Wurde die Helligkeit oder die Breite der Linie eines Elements durch Vergleichung mit einer benachbarten Linie des andern in der Legirung enthaltenen Elements geschätzt, so wurde der Punkt gleicher Helligkeit beider Linien bestimmt. (Ich bediente mich dieser Methode, um die Unbestimmtheit der mikrometrischen Messung der Spitzen der Linien zu umgehen, die in der ungleichen Wirkung des Funkens ihre Ursache hatte.)

V. In einigen Fällen, in denen die Menge des einen Bestandtheils so gering war, dass keine Linien desselben zu bemerken waren, schien sich doch ein Einfluss auf die Linien des andern Bestandtheils bemerkbar zu machen, wenn man sie mit denselben Linien am andern Pol verglich.

VI. Häufig wurden Veränderungen der Länge eines Linienpaares beobachtet, von welchem die eine dem ersten, die andere dem zweiten Bestandtheil angehörte.

Zu den Untersuchungen, welche zu diesen Ergebnissen führten, dienten die in der angegebenen Weise dargestellten Legirungen. Ich überzeugte mich von der Nothwendigkeit, Reihen von Legirungen zu beobachten, in denen die Schwankungen in der procentischen Zusammensetzung geringer und durch besondere Versuche bestimmt waren.

Herr C. Freemantle, der Vicedirector der Münze, hatte die Güte, mir Proben von Goldkupfer- und Silberkupferlegirungen, wie sie zum Ausprägen der Münzen hergestellt werden, zur Verfügung zu stellen. In diesen Legirungen hatte ich genau das, was ich für die Untersuchung brauchte, nämlich eine Reihe mit geringen Schwankungen und von unzweifelhafter Genauigkeit.

§. 5. *Versuche mit andern Legirungen.*

Bevor ich indess die Versuche mit den Legirungen der Münze näher anführe, will ich kurz einige andere Experimente erwähnen, die ich mit Legirungen anstellte,

in denen die Unterschiede im Verhältniss der Bestandtheile grösser waren.

Als Beispiel eines mässig kleinen Unterschiedes wurde ein Versuch mit einem Theil eines halben Sovereigns gemacht, welchem $\frac{1}{1000}$ seines Gewichts Kupfer zugesetzt wurde. Diese Gemenge wurde mit einem andern Theil der Münze verglichen. Es war indess kein Unterschied wahrzunehmen, möglicherweise infolge eines Versehens bei der Darstellung einer so geringen Menge einer Legirung.

Dann wurde eine Legirung von 5,5996 Gramm Blei und 0,6221 Gramm Silber dargestellt. Zuerst wurde das Blei in einer gekrümmten, schwer schmelzbaren Glasröhre zum Schmelzen gebracht und dann das Silber in demselben aufgelöst. Eine Oxydation des Bleies wurde durch einen Wasserstoffstrom verhindert.

Diese Legirung enthielt 89 Proc. Blei und 11 Proc. Silber. Die Silberlinien bei 5470, 5464, 5209 waren deutlich zu erkennen, die Linie 5401 war undeutlich.

Der entgegengesetzte Pol wurde durch etwas reines Blei gebildet und es ward beobachtet, dass die Linien desselben länger waren als die Linien des Bleies in der Legirung. Eine sehr feine Linie zeigte sich gegenüber der Silberlinie 5290. Dies war indess wahrscheinlich die schwache Bleiinie 5206, da die längern Silberlinien nicht zu bemerken waren.

Dann wurde der Legirung ein Pol aus gewöhnlichem Blei gegenübergestellt. Die fragliche Linie 5206 war nicht stärker als im ersten Falle, woraus fast mit Sicherheit geschlossen werden kann, dass es eine Bleiinie ist.

Um zu ermitteln, wie viel Silber erforderlich ist, damit das Spectrum desselben sichtbar wird, und da das gewöhnliche Blei in der Regel Spuren von Silber enthält, so wurde eine Legirung dargestellt, die 0,01 Proc. Silber enthielt. In dieser waren keine Silberlinien zu bemerken, ebenso wenig, wenn die Legirung 0,05 Proc. Silber enthielt. Dasselbe war der Fall, wenn der Silber-

gehalt 0,11 Proc. betrug. Selbst mit Anwendung einer grossen Leydener Flasche waren keine Silberlinien zu bemerken.

Schliesslich wurde eine Legirung von 1,0 Proc. Silbergehalt hergestellt. In dieser erschienen sehr deutlich drei Silberlinien; 5464 war die längste, dann folgte 5209, endlich 5470.

Sodann wurde eine andere Legirung mit 0,5 Proc. hergestellt. In dieser waren die beiden Silberlinien 5464 und 5209 zu bemerken, doch waren dieselben sehr schwach und kurz. Fortgesetzte Beobachtungen zeigten, dass die Linie 5464 zwischen 0,5 und 0,2 Proc. Silbergehalt erlischt (zuletzt wurde sie in der 0,5procentigen Legirung entdeckt). Ich gewann aus diesen Beobachtungen die Ueberzeugung, dass die verschiedenen Theile der Legirung grosse Abweichungen untereinander zeigten, trotzdem dieselben mit der grössten Sorgfalt dargestellt worden waren.

Ausserdem wurden Experimente mit Legirungen von Zinn und Cadmium angestellt. Der Gehalt an letzterm Metall betrug 0,154 Proc. Die letzte Cadmiumlinie 5085 allein blieb dauernd sichtbar, allerdings sehr schwach, doch unverändert in Länge. Wenn die Linie 4799 beobachtet wurde, so erschien dieselbe nur unvollständig. Ausserdem war keine einzige Cadmiumlinie zu bemerken. Eine andere Legirung von Zinn mit 1,0 Proc. Cadmium zeigte die Linie 5085 hell und deutlich, ebenso 4799. Auch die Linie 4677 war deutlich zu erkennen und auch die Spitze der am schwächsten brechbaren Linie 5377 fing an, sichtbar zu werden. Ob auch die Linie 5338 vorhanden war, konnte nicht nachgewiesen werden, da sie nahezu mit einer Zinnlinie zusammenfällt. Bei weitem Versuchen mit Legirungen von 5 und 10 Proc. Cadmiumgehalt bestand das Resultat im wesentlichen darin, dass die längsten Linien länger und heller wurden.

Um zu entscheiden, ob die Anwesenheit anderer Metalle in der Legirung dies Resultat beeinträchtigt, wurde eine Legirung von 89,11 Proc. Blei, 9,90 Proc. Zink,

0,09 Proc. Cadmium und 0,85 Proc. Zinn dargestellt. Die Cadmiumlinie zeigte kein wesentlich abweichendes Verhalten im Vergleich zu ihrem Ansehen in einer Legirung von 0,1 Proc. Cadmium mit 99,9 Proc. eines einzigen andern Metalls.

§. 6. Goldkupferlegirungen.

Bei meinen Untersuchungen, die ich mit den Münzlegirungen anstellte, fand ich im Kleinen dieselben Erscheinungen, mit denen ich bereits im Grossen bekannt geworden war. Die geringern Verschiedenheiten der Erscheinungen setzten mich in den Stand, dieselben besser zu verstehen.

Ich fand, dass in den Goldkupferlegirungen ein Zuwachs von einem Tausendstel Gold die Linien verkürzte, während ein gleicher Zuwachs von Kupfer dieselben verlängerte, d. h. die Höhe des Dampfs dieses Pols vergrösserte.

Ebenso fand ich, dass in den Silberkupferlegirungen ein Zuwachs von einem Tausendstel Silber die Linien verlängerte, eine entsprechende Zunahme des Kupfers dieselben dagegen verkürzte, d. h. die Höhe des Dampfs an dem Pol verminderte.

Nachdem ich diese Beobachtungen gemacht hatte, gewann ich die Ueberzeugung, dass sich alle diese Erscheinungen durch die Annahme eines Wechsels der Flüchtigkeit erklären lassen würden, wenn man berücksichtigt, dass die Legirungen, die sich um ein Tausendstel in ihrer Zusammensetzung unterscheiden, verschiedene physische Dinge sind und dass der elektrische Funke auf die Legirung im ganzen ebenso wol einwirkt als auf jeden Dampf allein.

Die Schmelzpunkte der drei Metalle, aus denen die beiden erwähnten Legirungen zusammengesetzt waren, sind:

Gold 1200° (Pouillet).

Kupfer zwischen 1200° und 1000° (nicht genau bestimmt).

Silber 1000° (Pouillet).

Die Stellung des Kupfers zwischen Gold und Silber erklärt sofort die verschiedene Wirkung, welche eine Zunahme des Kupfers hervorbringt, je nachdem es mit Gold oder mit Silber legirt ist.

Herr W. C. Roberts, der Chemiker der Münze, hatte die Freundlichkeit, mich bei einer weiteren Untersuchung der Goldkupferlegirungen zu unterstützen. Bei unsern Experimenten brachten wir theils Legirungen, deren Zusammensetzung bekannt war, theils solche von unbekannter Zusammensetzung in einen geeigneten Halter (Fig. 48), vermittels dessen sie durch Drehung einer festen Electrode *F* aus Platin oder Platiniridium gegenübergestellt werden konnten.

Wir überzeugten uns bald, dass es nothwendig war, die Länge des Funkens, welcher den glühenden Dampf der Legirung erzeugte, höchst sorgfältig zu reguliren.

Bei den ersten Versuchen wurde ein Stückchen der Legirung von mehr oder weniger unregelmässiger Gestalt in einer passenden Klemme gehalten. Der Inductionsfunken sprang dann von der Legirung zu einem ähnlichen Stückchen von Aluminium oder einem andern Metall über. Dann liessen wir nach dem Vorschlag von Stokes den Funken in einer verticalen Linie zwischen dem kürzesten Abstand zweier rechtwinkelig gegeneinander geneigter Stäbchen überspringen.

Da indess diese Methode mit manchen Schwierigkeiten verbunden war, so ersetzten wir die Stäbchen, die in der in der Figur (*x*) angedeuteten Weise befestigt wurden.

Der Abstand der beiden Pole wurde anfangs mit einem Maassstab, später mit dem Kathetometer bestimmt. Die genauesten Resultate erzielten wir indess, indem wir den Theil des Apparats mit der Legirung in das Gesichtsfeld eines Mikroskops mit einem Objectiv von drei

oder vier Zoll Brennweite brachten, sodass die Fläche, von welcher der Funke überspringt, in den Durchschnittspunkt zweier im Ocular angebrachter Spinnenfäden kommt.

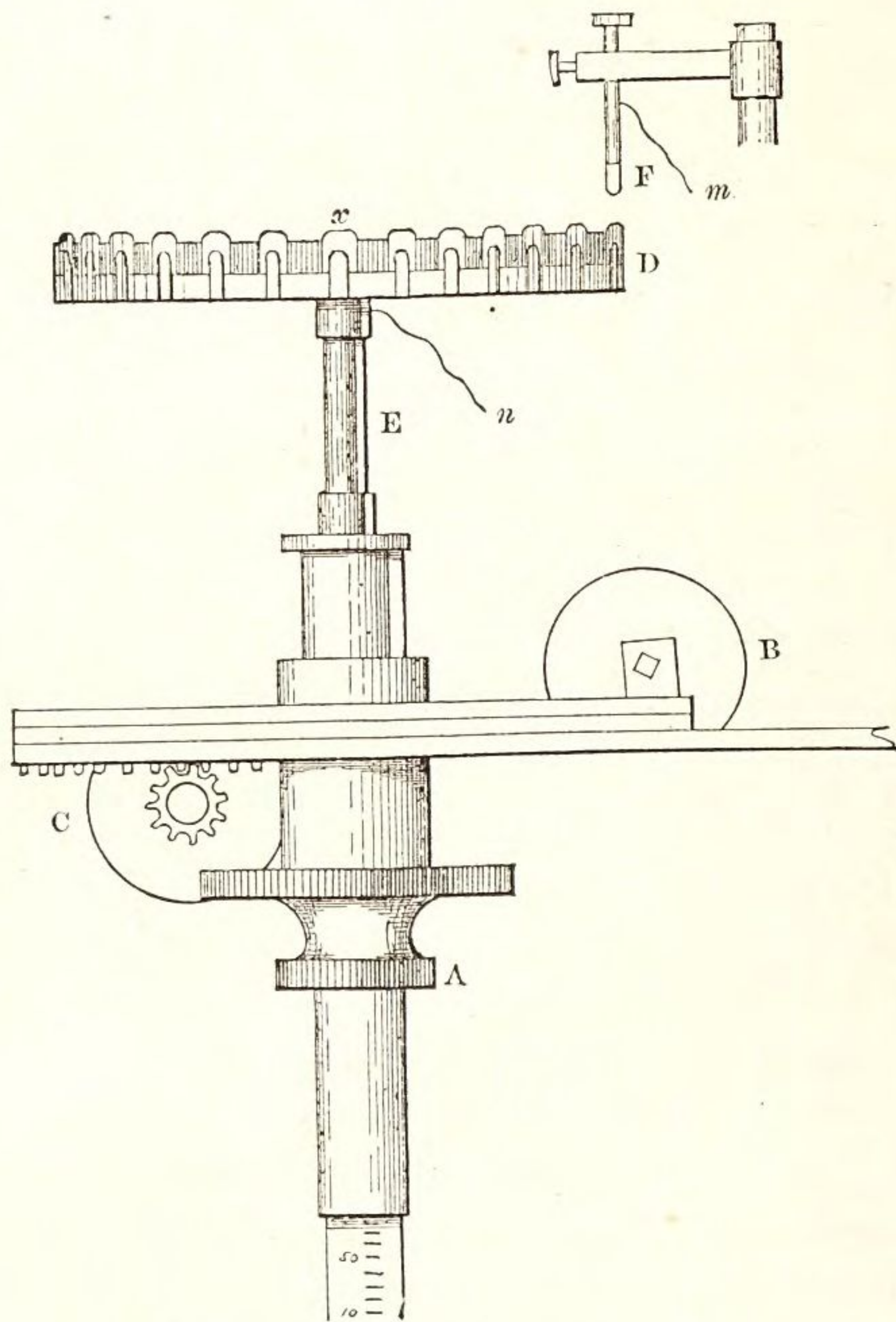


Fig. 48. Halter für Legirungen.

A Schraube zum Heben. B Schraube zum Drehen. C Schraube für seitliche Verschiebung. D Scheibe zum Halten der Proben. F Oberer fester Pol. *m*, *n* Poldrähte der Inductionsrolle.

Wir waren darauf bedacht, solche Legirungen zu wählen, die eine möglichst gleichförmige Beschaffenheit zeigten, und richteten unsere Aufmerksamkeit zunächst auf die Zinkcadmiumlegirung, eine aus der Reihe von Legirungen, welche Matthiesen „erstarrte Lösungen eines Metalls in einem andern“ nennt.

Dann experimentirten wir mit der Goldkupferlegirung, da sie uns durch ihre molekulare Beschaffenheit für diese Untersuchungen besonders geeignet erschien, auch ausserdem den grossen Vorzug vor andern Legirungen hatte, dass sich ihre Zusammensetzung nach den gewöhnlichen analytischen Methoden auf ein Tausendstel genau bestimmen lässt, ein Grad von Genauigkeit, den jeder zu schätzen wissen wird, der mit dem gewöhnlichen Verfahren der quantitativen Analyse bekannt ist.

Die Ergebnisse der Beobachtungen wurden durch Curven anschaulich gemacht, deren Coordinaten die nach den gewöhnlichen analytischen Methoden bestimmte Zusammensetzung der Legirung und der veränderlichen Grenzen gleicher Helligkeit waren, die durch bewegliche Mikrometerdrähte gemessen wurde, mit denen das Ocular des Beobachtungsfernrohrs versehen war. Die den verschiedenen Zusammensetzungen entsprechenden Mikrometerablesungen wurden durch Punkte bezeichnet und aus diesen eine mittlere Curve gezeichnet.

Unser Verfahren bestand darin, für jeden einzelnen Fall aus Proben von genau bekannter Zusammensetzung die Curve zu zeichnen und dann vermittels der Mikrometerablesung die Stellung einer Legirung von unbekannter Zusammensetzung zu ermitteln.

Aus zahlreichen Versuchen ergab sich, dass die Zusammensetzung von Legirungen, wie sie mit dem Spectroskop und wie sie mit den gewöhnlichen analytischen Methoden erhalten wurde, nur wenig voneinander abweichen, solange die Bedingungen, unter denen gearbeitet wurde, gleichförmig waren.

Als Beispiele mögen die folgenden Versuche angeführt werden:

Eine Anzahl von Zinkcadmiumlegirungen wurde synthetisch dargestellt und aus diesen wurden fünf ausgewählt, in denen der Cadmiumgehalt von 50 bis 54 Proc. zunahm. Es ist bemerkenswerth, dass beide Bestandtheile der Legirung leicht schmelzbar sind (Zink bei 433°C , Cadmium bei 228°C). Die Beobachtungen mit

dem Spectroskop setzten uns sofort in den Stand, diese Legirungen in der richtigen Reihenfolge anzuordnen. Siehe Fig. 49.

Dann wurde eine Reihe von Goldkupferlegirungen untersucht, deren Goldgehalt von 900,0 bis 922,5 Tausendstel schwankte. Es wurde eine Curve (A) durch Messungen bestimmt, bei denen die Mikrometerdrähte in eine verticale Stellung gebracht wurden und indem die Basis der untersten sichtbaren Theile der fraglichen Spectrallinien gemessen wurde, eine Methode, die uns bei grössern Differenzen der einzelnen Glieder zweckmässiger erschien

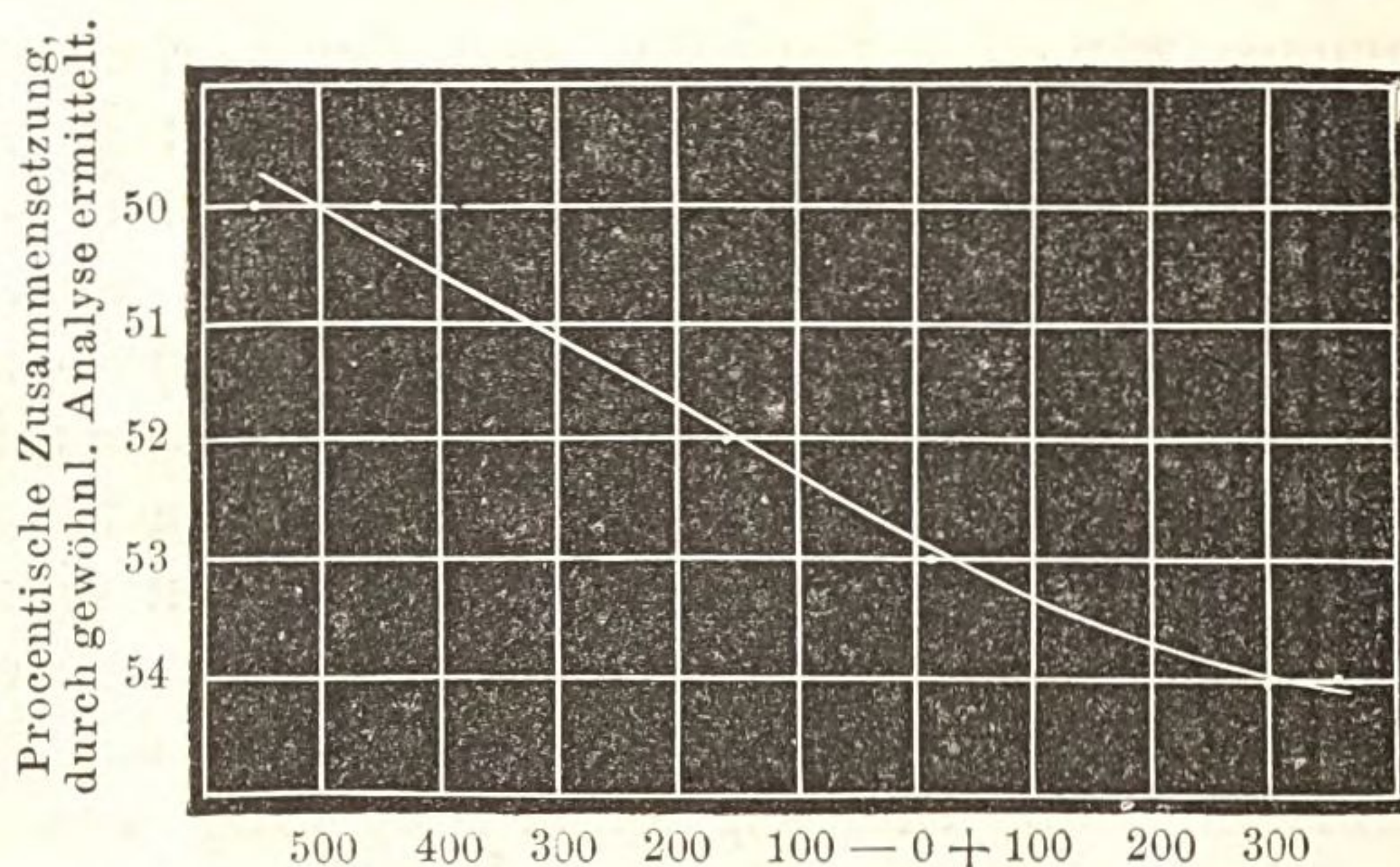


Fig. 49. Mikrometerablesungen. Zinkcadmiumlegirungen.

als die Messung der obern Theile der Spectrallinien. Diese letztere Methode fanden wir bei geringern Differenzen zweckmässiger. Wir suchten namentlich zu bestimmen, ob die Curven continuirlich seien und wann eine aus irgendwelchen Linien abgeleitete Curve aufhören würde, zuverlässig zu sein.

Eine andere Curve (B) wurde aus den Beobachtungen einiger Goldkupferlegirungen construirt, deren Zusammensetzung nach den gewöhnlichen Methoden bis auf $\frac{1}{10000}$ genau bestimmt worden war.

Man ersieht aus der Figur auf einen Blick, dass in dem untern Theil der Curve einer Aenderung der Zu-

sammensetzung um $\frac{1}{10000}$ eine viel grössere Aenderung der Mikrometerablesung entspricht, als in dem obern

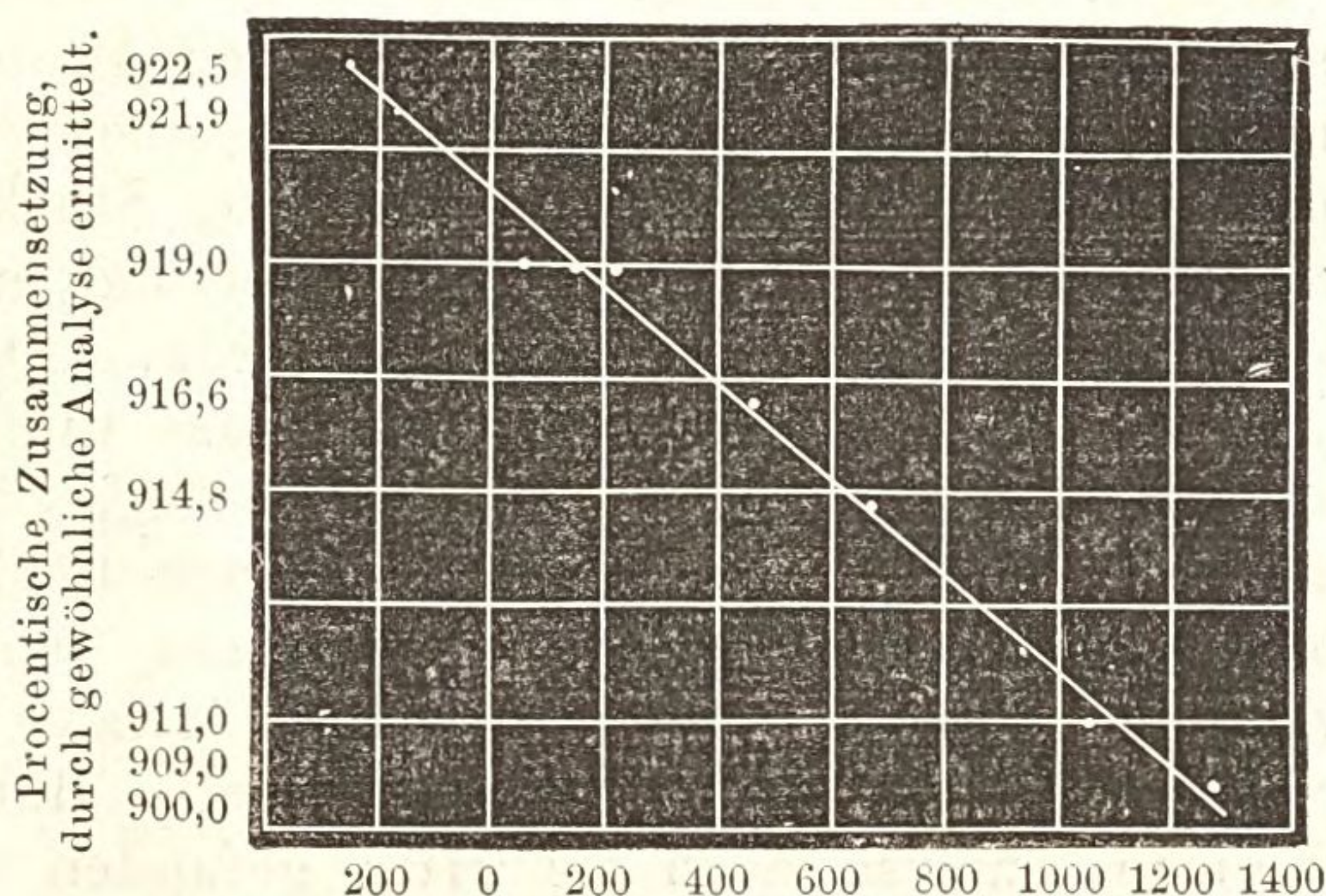


Fig. 50. Curve A. Goldkupferlegirungen.

Theile derselben. Ebenso ist zu bemerken, dass, da in diesem empfindlichern Theil eine Aenderung um $\frac{1}{10000}$

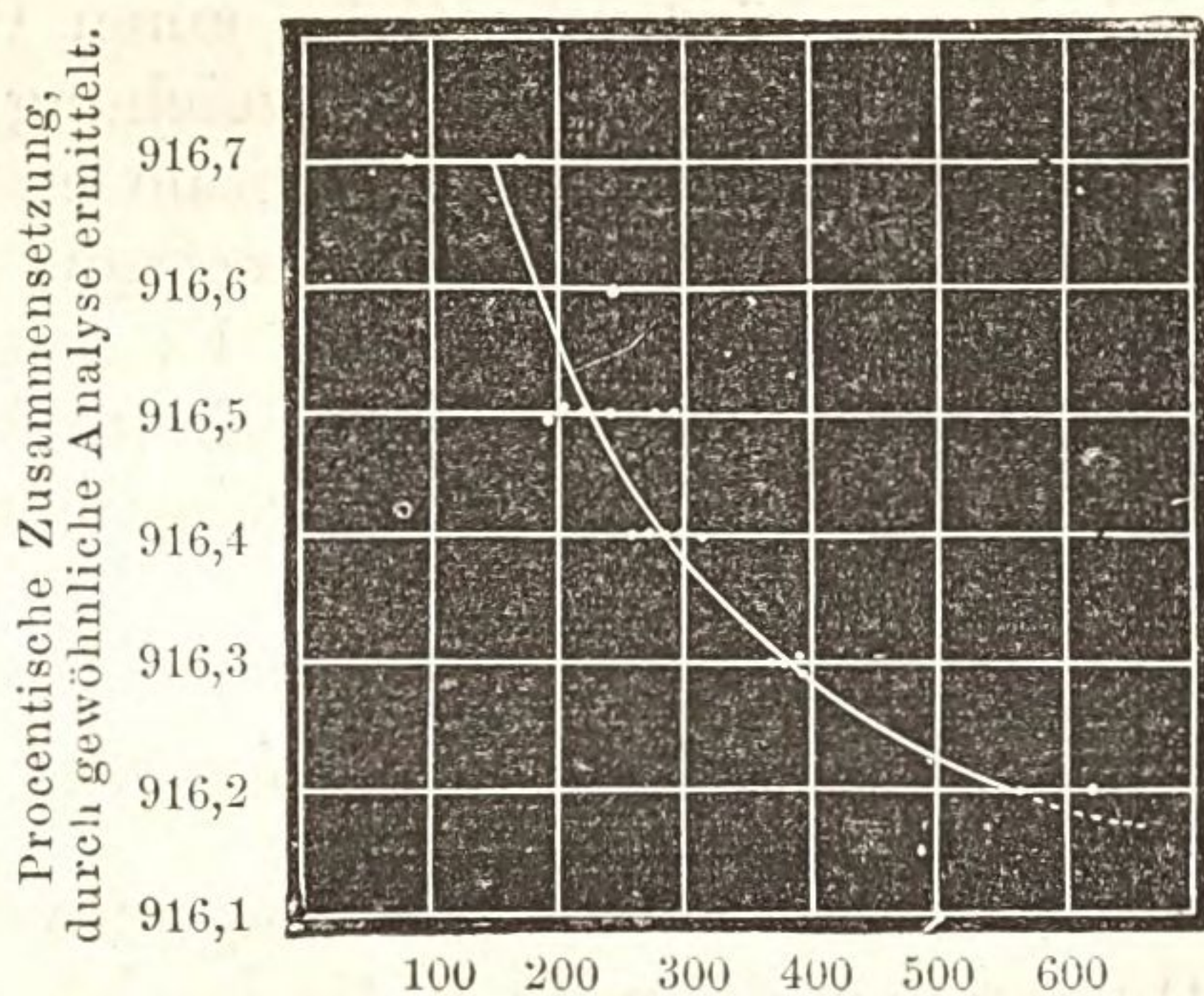


Fig. 51. Curve B. Goldkupferlegirungen.

durch eine Aenderung um 200 in der Mikrometerablesung angezeigt wird, eine zuverlässige mittlere Curve nur dann construirt werden kann, wenn die Zusammen-

setzung der Legirung viel genauer ermittelt worden ist, als es die gegenwärtigen Methoden der Analyse gestatten.

In einigen Fällen wurden doppelte und selbst dreifache Ablesungen mit ein und derselben Probe vorgenommen, sodass verschiedene Punkte in einer Vertical-colonne nicht nothwendig die Anzahl von Stücken der Legirung bezeichnet, deren Zusammensetzung ermittelt wurde. Betrachten wir die Legirung (Fig. 51), deren Goldgehalt 916,4 ist, so sehen wir, dass die grösste Abweichung von der Curve geringer als $\frac{1}{20000}$ ist. In diesem Falle können wir unmöglich einen Fehler der spectroskopischen Beobachtung voraussetzen, denn wäre die Zusammensetzung aller Legirungen genau so wie das Spectroskop angibt, so würde dieselbe durch die gewöhnliche Analyse doch als 916,4 gefunden werden. Betrachten wir dagegen die Probe mit dem Gehalt 916,6, so zeigt sich, dass für die beiden mit den Ablesungen 150 die Abweichung dem bereits bestimmten Werth $\frac{1}{20000}$ entspricht, während die beiden mit den Ablesungen 250 dieselben in eine solche Stelle der Curve bringen würden, welche einen Gehalt von weniger als 916,5 anzeigt. Die Abweichung in diesem Falle war so bedeutend, dass es rathsam erschien, eine neue Bestimmung in der Zusammensetzung nach der gewöhnlichen Methode auszuführen. Es zeigte sich zu unserer Genugthuung, dass die wiederholte Analyse mit dem spectroskopischen Resultat übereinstimmte.

§. 7. *Künftige Untersuchungen.*

Es lässt sich unmöglich voraussehen, zu welchen analytischen Operationen die neue Methode sich als brauchbar erweisen wird. Da die in Rede stehenden Versuche hauptsächlich den Zweck hatten, eine neue Methode zur Bestimmung des Goldes auszubilden, so ist es rathsam, die Aufmerksamkeit auf die relativen Vortheile der alten und der neuen Methoden zu beschränken.

Wir wiesen durch genaue Experimente nach, dass die während einer Beobachtung verflüchtigte Menge einer Legirung in keinem Falle 0,0001 Gramm überstieg, und es ist interessant, diese Menge mit der in der Regel bei Goldbestimmungen angewandten Menge, die zwischen 0,5 und 1 Gramm schwankt, zu vergleichen.

Die Menge des verbrauchten Metalls ist allerdings eine sehr geringe, allein es ist, eine genaue Ausführung der Beobachtung und Gleichmässigkeit der Legirung vorausgesetzt, kein Grund zu der Annahme vorhanden, dass der Gehalt eines Goldbarrens nach der neuen Methode weniger genau zu ermitteln sei als nach der alten.

Die jetzt gebräuchliche Methode liefert Resultate, die bis auf $\frac{1}{10000}$ der angewandten Menge genau sind. Ausser diesem hohen Grade von Genauigkeit bietet die Methode noch einige Nebenvortheile, von denen nicht der geringste darin besteht, dass bei verschiedenen auszuführenden Operationen sich beigemengte Verunreinigungen, wie z. B. Iridium, leicht zu erkennen geben.

Andererseits muss man bedenken, dass die jetzt gebräuchliche Methode sechs verschiedene Operationen und zwei Stunden Zeit erfordert. Da es indess, in vielen Fällen erwünscht ist, den Gehalt eines Goldbarrens möglichst schnell zu bestimmen, so ist einleuchtend, dass die neue Methode in dieser Hinsicht die alte übertrifft, da sie zur Ausführung einer Goldbestimmung nur wenige Minuten erfordert.

Nur die Erfahrung kann die Frage entscheiden, ob die neue Methode ebenso zuverlässig gemacht werden kann als die alte. Bisjetzt war eine vollständige Gleichmässigkeit der Bedingungen, unter denen die einzelnen Versuche ausgeführt wurden, nicht zu erreichen. So änderte sich z. B. von Zeit zu Zeit die Stärke des Stroms, der zur Verflüchtigung der Metalle angewandt wurde. Andere Mängel hatten ihren Grund hauptsächlich in dem Umstand, dass die Untersuchungen von rein wissenschaftlichem Gesichtspunkt aus angestellt wurden.

Gleichviel ob die neue Methode vor der alten den

Vorzug verdient oder nicht, jedenfalls ist die Thatsache erwiesen worden, dass sie es ermöglicht, die Zusammensetzung einer Goldkupferlegirung bis auf $\frac{1}{10000}$ der Masse genau zu ermitteln.

Zum Schluss dieses Kapitels will ich es nicht unterlassen, Herrn Dr. Siemens und andern Freunden meinen Dank für die Uebersendung verschiedener Mischungen zur Prüfung dieser Methode auszusprechen. Zu meinem Bedauern war ich durch andere Arbeiten zu sehr in Anspruch genommen, um mehr Experimente als die erwähnten ausführen zu können.

NEUNTES KAPITEL.

Ueber das Zusammenfallen von Spectrallinien.

§. 1. *Allgemeine Verbreitung von Verunreinigungen.*

Es bedarf keiner sehr ausgedehnten Beobachtungen, um sowol zu erkennen, dass die meisten Metalle verunreinigt sind, als auch, um die Ueberzeugung zu gewinnen, dass das von Thalén und andern beobachtete Zusammenfallen zahlreicher Linien sich vielleicht ohne die Annahme erklären lässt, dass Linien verschiedener Metalle zusammenfallen.

Eine Betrachtung der Ångström'schen Zeichnung des Sonnenspectrums zeigt z. B., dass zahlreiche Linien den Spectren zweier oder mehrerer Metalle gemeinsam sind. Dies gilt namentlich von den Linien des Eisens, Titans und Calciums. Fast alle andern Metalle zeigen Linien, welche mit Linien dieser Metalle zusammenfallen.

In einigen Fällen, welche genauer untersucht worden sind, hat es sich häufig gezeigt, dass eine mehreren Spectren gemeinsame Linie nur in einem derselben lang und hell, im andern dagegen kurz oder schwach oder beides zugleich ist. Ja, in manchen Proben der Substanzen kann sie auch vollständig fehlen.

Als ein Beispiel von diesem verschiedenen Verhalten mögen die Spectra von Calcium und Strontium dienen. Die längste Linie in dem sichtbaren Theil des Calciumspectrums (Thalén) von der Wellenlänge 4226,3 tritt in dem Strontiumspectrum als Linie von mittlerer Länge

auf. Eine der längsten Linien des Strontiums dagegen (4607,5) findet sich im Calciumspectrum als kurze Linie wieder.

Eine andere sehr lange Strontiumlinie (4215,3) steht in unmittelbarer Nähe der längsten Calciumlinie und wird nach Thalén auch in dem Spectrum dieses Metalls angetroffen.

Es gelang mir nicht, die Anwesenheit dieser Linie im Calciumspectrum sofort zu erkennen. Das Metall, welches ich benutzte, war allerdings sehr rein.

Wir haben hier also zwei Metalle, deren Spectra zwei Linien gemeinsam haben, und die Linie, welche in dem einen Spectrum lang und hell ist, ist schwach in dem andern. Eine dritte Linie findet ein Beobachter in beiden Spectren, ein anderer nur in dem einen, und nur nach langen Versuchen gelingt es, dieselbe auch in dem zweiten zu finden, aber nur in einer Probe des Metalls, die mit dem andern Metall verunreinigt war.

Die einfachste Erklärung dieser Thatsache besteht in der Annahme, dass das zur Erzeugung des Spectrums dienende Calcium mit Strontium und das Strontium umgekehrt mit Calcium verunreinigt war, was nicht nur sehr leicht möglich, sondern in hohem Grade wahrscheinlich ist, wenn man sich die grosse Uebereinstimmung des chemischen Verhaltens beider Metalle und die Schwierigkeit vergegenwärtigt, die eine auch nur annähernd vollständige Trennung derselben bietet.

Selbst wenn wir nicht wüssten, wie wahrscheinlich es ist, dass das eine Metall durch das andere verunreinigt ist, so würde das Verhalten der Linie 4215,3 genügen, um den wahren Grund des Zusammenfallens der Linien zu erkennen.

Die langen Linien des Calciums von den Wellenlängen 4226, 3968 und 3933 treten im Spectrum von Eisen, Kobalt, Nickel, Barium und andern im elektrischen Flammenbogen unter Anwendung von Kohlenpolen auf und nehmen oft solche Ausdeh-

nungen an, dass sie an Länge manchen unzweifelhaft jenen weniger flüchtigen Metallen angehörenden Linien gleichkommen und dieselben übertreffen. Ebenso zeigen sich oft unter ähnlichen Bedingungen die Eisenlinien 4071, 4063 und 4045 in dem Spectrum von Calcium, Strontium und Barium.

Auch die Aluminiumlinien 3961 und 3943 erscheinen in der Regel im Eisenspectrum als ziemlich lange Linien. Sie finden sich auch in den Spectren von Kobalt, Nickel, Calcium, Strontium und Barium und anderer Metalle, in denen sie häufig wegen der grössern Flüchtigkeit des Aluminiums länger sind als manche Linien, welche unzweifelhaft jenen andern Metallen angehören.

§. 2. *Allgemeine Sätze über das Zusammenfallen der Spectrallinien.*

Diese Betrachtungen setzen uns in den Stand, über das Zusammenfallen der Spectrallinien die folgenden allgemeinen Sätze aufzustellen, die durch weitere Untersuchungen allerdings eine Veränderung erleiden können.

1. Bei der Beobachtung der zusammenfallenden Linien tritt selten der Fall ein, dass die Linien in allen Spectren, denen sie gemeinsam sind, gleiche Länge haben, namentlich wenn die Flüchtigkeit der Metalle ungefähr gleich ist. Viel häufiger sind dieselben in dem einen Spectrum lang, in dem andern dagegen kurz.

2. In der Regel sind diese Linien der schwerflüchtigen Metalle Eisen, Kobalt, Nickel, Chrom, Mangan, welche mit Calciumlinien zusammenfallen, kürzer als die Linien des leichtflüchtigen Calciums. Wir sind daher zu der Annahme berechtigt, dass die Linien des Eisens, Kobalts, Nickels, Chroms und Mangans, die mit langen und starken Calciumlinien zusammenfallen, durch Spuren des letztern Metalls erzeugt werden, welche jenen andern Metallen als Verunreinigungen beigemengt sind.

3. Finden sich in verschiedenen Spectren zusammenfallende Linien, so kann man mit ziemlicher Sicherheit annehmen, dass sie demjenigen Metall angehören, in dessen Spectrum sie am längsten und hellsten sind.

Um zu zeigen, dass wir eine Lösung aller dieser Fragen von der Photographie erwarten dürfen, gebe ich hier eine Copie einer der allerersten nach der beschriebenen Methode aufgenommenen Photographien. Es ist eine Zusammenstellung der Spectra von Calcium und Strontium.

Eine einfache Vergleichung beider Spectra zeigt, dass dieselben drei starke, breite Linien, die beiden Linien bei 3968, 3943 und die breite Calciumlinie bei 4226,3 in der Nähe von *G* gemeinsam haben. Das Strontium-spectrum zeigt drei Linien, welche viel breiter sind als die entsprechenden Linien im Calciumspectrum. Sie befinden sich bei den Wellenlängen 4029 und 4215,3. Die letztere Linie wurde von Thalén dem Calcium zugeschrieben und fällt mit einer starken Sonnenlinie zusammen. Eine Betrachtung der Photographie überzeugte mich indess, dass diese Linie eine Strontiumlinie ist, zumal sie die breiteste im Spectrum dieses Metalls ist. So genügte also diese einzige Platte bei diesen Untersuchungen, um die Anwesenheit von Strontium in der umkehrenden Schicht der Sonne nachzuweisen.

Wie man aus diesem Beispiel sieht, genügt die Vergleichung einer Photographie irgendeines Spectrums mit den Photographien anderer Spectra, in denen sich zusammenfallende Linien finden, um zu entscheiden, welchem Spectrum eine Linie zweifelhaften Ursprungs angehört. Ebenso ist zu bemerken, dass die drei erwähnten Calciumlinien in dem untern (Strontium-)Spectrum fast ebenso dick sind als in dem Calciumspectrum selbst, während der Unterschied zwischen den dicken Strontiumlinien und den entsprechenden auch im Calciumspectrum sichtbaren Linien sehr bedeutend ist. Alle diese That-sachen erklären sich sehr leicht durch die Annahme, dass das Calcium viel weniger durch Strontium, als

Pl. VII

Al

Ca.

L. M.

dieses durch Calcium verunreinigt war. Ich hatte in der That ein solches Zutrauen zu dieser Methode und war so sehr überzeugt, dass das Zusammenfallen von Linien im allgemeinen durch Verunreinigung erzeugt wird, dass ich es nicht einmal für nöthig hielt, die Pole zu wechseln. Ich benutzte zur Aufnahme des Strontiums vielmehr denselben Pol, welcher zum Verdampfen des Calciums gedient hatte. In nahezu reinem Strontium waren dieselben Linien zu bemerken, doch waren sie dünner und kürzer.

Die Linien bei 4045, 4063 und 4071 deuten eine Verunreinigung durch Eisen an. Es sind die längsten Linien des Eisens in diesem Theil des photographirten Spectrums.

§. 3. *Erkennung der Linien der Verunreinigungen.*

Diese Betrachtungen geben uns ein Mittel, die durch Verunreinigungen erzeugten Linien in den Photographien zu erkennen. Das Verfahren besteht in Folgendem. Das Spectrum des Elements wird zuerst mit den Spectren derjenigen Substanzen, deren Anwesenheit am leichtesten zu vermuthen ist, sowie derjenigen Metalle verglichen, die nach den Messungen Thalén's zusammenfallende Linien enthalten.

Sowol die Linien, die auf diese Weise aufgefunden werden, als auch diejenigen, deren Länge und Dicke in verschiedenen Photographien verschieden ist und daher ebenfalls vermuthlich durch Beimengungen erzeugt werden, werden als aus der Zeichnung wegzulassende vermerkt.

Um zu entscheiden, in welchen von mehreren Spectren eine gemeinsame Linie zu unterdrücken oder beizubehalten ist, muss beobachtet werden, in welchem dieselbe am dicksten ist. Werden die Spectra von mehreren Elementen gleichzeitig aufgenommen, so werden dieselben auf ein und derselben Platte zusammengestellt,

da sich auf diese Weise am leichtesten die Anwesenheit einer Substanz als verunreinigender Bestandtheil in den andern herausstellt.

Dass z. B. die beiden Linien *H* und *K* (3933 und 3968), die Thalén dem Eisen und dem Calcium zuschrieb, ausschliesslich dem Calcium angehören, ergibt sich aus folgenden Beobachtungen:

a. Die Linien sind sehr deutlich im Spectrum des käuflichen Schmiedeeisens, fallen aber mit zwei Linien im Calciumchlorid, mit welchem das Eisenspectrum verglichen wurde, vollkommen zusammen.

b. Nur Spuren dieser Linien zeigte ein vom verstorbenen Dr. Matthiessen dargestellte und mir von Dr. Russel zur Verfügung gestellte Probe chemisch reinen Eisens. Beide Pole der Lampe bestanden aus Eisen, der untere aus einem in einer Kalkform gegossenen Stäbchen.

c. Die Linien fehlen beide in einer Photographie des Spectrums von reinem Eisen, zu dessen Erzeugung Eisen diente, welches nicht in Kalkformen gegossen war. Ebenso fehlen die Linien in einer Photographie des Spectrums des Meteoriten von Lenarto.

Aus diesen Beispielen ergibt sich die Methode, nach welcher der Ursprung zahlreicher zusammenfallender Linien seine Erklärung gefunden hat.

Bei der Bestimmung des Zusammenfallens sehr dicker Linien, wie z. B. der erwähnten Linien *H*, ist die Aufmerksamkeit namentlich auf die dicke Linie zu richten. Es tritt nicht selten der Fall ein, dass sich eine sehr dicke Linie selbst umkehrt, ein Umstand, der die Vergleichung mit andern Linien sehr erleichtert, da in diesem Falle eine dünne, dunkle Linie sich durch die Mitte der hellen Linie hindurchzieht.

Bei der in der angegebenen Weise ausgeführten Bestimmung der durch die Verunreinigungen erzeugten Spectrallinien erhält man zuletzt ein Spectrum, in welchem jede Linie einem bestimmten photographirten Element zugewiesen werden kann.

Je weiter diese Untersuchungen fortgesetzt werden, desto mehr wächst die Wahrscheinlichkeit, dass die Spectra von Eisen und andern Metallen sehr vereinfacht werden, indem man von vielen Linien erkennen wird, dass sie durch beigemengte Verunreinigungen erzeugt werden. Es dürfte nicht uninteressant sein, die Betrachtungen, welche mich zu diesem Schluss geführt haben, etwas näher anzuführen. Es sind Fälle beobachtet worden, in denen eine wohlbestimmte Linie eines Spectrums mit der längsten Linie eines von neuem aufgenommenen Spectrums eines andern Elements zusammenfällt.

Angenommen sodann, Eisen sei als Verunreinigung in einem Element vorhanden, dessen Spectrum zum ersten mal aufgenommen wird, so wird man sich vor allen Dingen nach der längsten Eisenlinie umsehen. Nun kann aber der Fall eintreten, dass eine dieser Linien in dem neuen Element viel länger ist als die übrigen Linien im Eisenspectrum, die man bis dahin als gleichlang betrachtet hatte.

Endlich finden sich in dem Spectrum eines Elements zahlreiche im Sonnenspectrum umgekehrte Linien, welche mit den Linien anderer Elemente vollkommen zusammenfallen. Vielleicht erkennen wir durch Anwendung einer stärkern Zerstreuung, dass diese Linien nicht absolut zusammenfallen, sondern nur sehr dicht nebeneinander stehen. Meine Erfahrung lässt mich vermuthen, dass diese Linien durch die Anwesenheit gewöhnlicher Verunreinigungen oder durch Elemente, die bisjetzt noch nicht bekannt sind, verursacht werden.

ZEHNTES KAPITEL.

Die in der Sonne vorkommenden Elemente.

Die im fünften Kapitel angeführten Beobachtungen sind von grosser Wichtigkeit für die Frage nach der chemischen Zusammensetzung der Sonne, da, wie bekannt, die Linien eines Elements, dessen Anwesenheit in der Sonnenatmosphäre angenommen wird, nicht in allen Fällen sämmtlich umgekehrt sind.

Bevor ich die vorliegenden Thatsachen im einzelnen anführe, wird es nützlich sein, zunächst die frühern Beobachtungen von Kirchhoff und Ångström zu erwähnen, um zu zeigen, mit welcher Genauigkeit wir jetzt im Stande sind, die nach Kirchhoff's Methode (ohne getrennte Untersuchung der Flecken, Fackeln und der Chromosphäre) in der Sonnenatmosphäre erkannten Elemente nachzuweisen.

§. 1. *Kirchhoff's Untersuchung.*

Kirchhoff zieht in seiner Abhandlung aus dem bereits von Fraunhofer beobachteten Zusammenfallen der doppelten Linie *D* mit einer im Spectrum des Natriumdampfs beobachteten Doppellinie den Schluss, dass Natrium in der Sonnenatmosphäre enthalten sei. Dasselbe hatte bereits früher Stokes ausgesprochen. Ebenso schloss er, dass Eisendampf in der Sonnenatmosphäre vorhanden sei, da er für alle hellen Eisenlinien, die

er im Funkenspectrum beobachtete (er sah nur eine geringe Anzahl), entsprechende Fraunhofer'sche Linien im Sonnenspectrum fand. Seine weitem Bemerkungen über das Vorhandensein anderer Metalle in der Sonnenatmosphäre lasse ich hier dem Wortlaut nach folgen:

„Nachdem so die Gegenwart eines irdischen Stoffs in der Sonnenatmosphäre festgestellt und durch dieselbe eine grosse Zahl der Fraunhofer'schen Linien erklärt ist, liegt die Vermuthung nahe, dass auch andere irdische Stoffe dort sich befinden und durch die Absorption, die sie ausüben, andere von den Fraunhofer'schen Linien hervorbringen. Es ist namentlich wahrscheinlich, dass Stoffe, welche hier an der Erdoberfläche in grossen Massen vorhanden sind und welche zugleich durch besonders helle Linien in ihren Spectren sich auszeichnen, auf ähnliche Weise wie das Eisen, sich in der Sonnenatmosphäre bemerklich machen werden. Es ist das in der That der Fall bei Calcium, Magnesium und Natrium. Allerdings ist die Zahl der hellen Linien in dem Spectrum eines jeden dieser Metalle nur eine kleine; aber diese Linien, sowie diejenigen des Sonnenspectrums, mit denen sie zu coincidiren scheinen, sind von so ausgezeichnete Deutlichkeit, dass ihre Coincidenzen sich mit ganz besonderer Schärfe beobachten lassen. Hierzu trägt der Umstand noch wesentlich fördernd bei, dass diese Linien in Gruppen vorkommen, deren Coincidenzen schärfer als die Coincidenzen einzelner Linien wahrgenommen werden können. Die Linien des Chroms bilden auch eine sehr ausgezeichnete Gruppe, die mit einer gleichfalls sehr deutlichen Gruppe Fraunhofer'scher Linien übereinstimmt; auch die Anwesenheit des Chroms in der Sonnenatmosphäre glaube ich hiernach behaupten zu dürfen.

„Es schien von Interesse, zu prüfen, ob in der Sonnenatmosphäre auch Nickel und Kobalt vorhanden sind, diese steten Begleiter des Eisens in den Meteor-massen. Die Spectren dieser beiden Metalle zeichnen sich, wie das des Eisens, durch die ausserordentlich

grosse Zahl ihrer Linien aus. Aber die Linien des Nickels und mehr noch die des Kobalts sind sehr viel weniger hell als die des Eisens; ich konnte ihre Lage daher lange nicht mit der Genauigkeit beobachten, wie es bei den Eisenlinien möglich gewesen war. Die hellern Linien des Nickels scheinen alle mit Linien des Sonnenspectrums zu coincidiren; dasselbe findet statt bei einigen Linien des Kobalts, bei andern von merklich gleicher Helligkeit aber nicht. Ich glaube aus meinen Beobachtungen schliessen zu dürfen, dass Nickel in der Sonnenatmosphäre sichtbar ist; ob dasselbe vom Kobalt gilt, darüber halte ich mein Urtheil zurück.

„Barium, Kupfer und Zink scheinen in der Sonnenatmosphäre vorhanden, aber nur in geringer Menge; den hellsten ihrer Linien entsprechen deutliche Linien des Sonnenspectrums, den schwächern nicht.

„Die übrigen Metalle, welche ich untersucht habe, nämlich Gold, Silber, Quecksilber, Aluminium, Cadmium, Zinn, Blei, Antimon, Arsen, Strontium und Lithium, sind nach meinen Beobachtungen in der Sonnenatmosphäre nicht sichtbar.

„Durch die Güte des Herrn Grandeau in Paris erhielt ich einige Stücke geschmolzenen Siliciums, welche mich in den Stand setzten, auch das Spectrum dieses Elements zu untersuchen, indem ich sie als Electroden benutzte. Die Linien des Siliciumspectrum sind indess mit Ausnahme zweier breiter, grüner Bänder bei 1810 und 1830 so lichtschrach, dass ich ihre Lage nicht mit der nöthigen Genauigkeit bestimmen konnte, um sie in meine Zeichnung einzutragen. Den genannten hellen Bändern entsprechen im Sonnenspectrum nicht dunkle Streifen; bei den von mir angewandten Mitteln ist hiernach Silicium in der Sonnenatmosphäre nicht wahrnehmbar.“

Aus dem Gesagten geht hervor, dass Kirchhoff seine Aufmerksamkeit vorzugsweise auf die hellsten Linien richtete. Der Versuch zur Beantwortung der Frage,

ob Kobalt in der Sonnenatmosphäre vorhanden sei, mislang aus einem Grunde, den ich später anführen werde. Als Resultat der Arbeit Kirchhoff's erhalten wir folgende Uebersicht über das Vorkommen der Elemente in der Sonnenatmosphäre:

Vorhanden.	Zweifelhaft.	Abwesend.
Natrium.	Kobalt.	Gold.
Eisen.		Silber.
Calcium.		Quecksilber.
Magnesium.		Aluminium.
Nickel.		Cadmium.
Barium.		Zinn.
Kupfer.		Blei.
Zink.		Antimon.
		Arsen.
		Strontium.
		Lithium.
		Silicium.

§. 2. *Ångström und Thalén.*

Ångström* gibt kein ähnliches Verzeichniss, sondern statt dessen eine Tabelle von beobachteten Coincidenzen. Thalén dagegen, der gemeinsam mit ihm arbeitete, gibt in einer besondern** Abhandlung folgendes Verzeichniss der in der Sonne gegenwärtigen Elemente:

Natrium.	Chrom.	Wasserstoff.
Eisen.	Nickel.	Mangan.
Calcium.	Kobalt.	Titanium.
Magnesium.		

* Recherches sur le spectre solaire, par A. J. Ångström. Spectre normal du Soleil. (Berlin 1869.)

** Longueurs d'onde des raies métalliques (Upsala 1868), p. 11. Nova Acta.

Er schloss also Zink und Barium aus Kirchhoff's Liste aus, fügte dagegen Kobalt hinzu, ebenso nach Beobachtungen Ångström's Wasserstoff und Mangan, sowie Titanium nach eigenen Beobachtungen.

Der Grund zu dieser Abänderung der Liste ist in der erwähnten Tabelle der Coincidenzen und Ångström's Bemerkungen zu derselben enthalten. Kirchhoff's Beweis für das Vorhandensein von Zink stützt sich auf das Zusammenfallen von zwei Linien. Dies hielt man für unzureichend. Da bei den übrigen Metallen die Anzahl der zusammenfallenden Linien bedeutend grösser war, nämlich:

Natrium . . .	9 (alle)	Magnesium	4 (3?)
Eisen . . .	450	Chrom. . .	18
Calcium . . .	75	Nickel. . .	33
Kobalt . . .	19	Wasserstoff	4 (alle)
Mangan . . .	57	Titanium .	118
Barium . . .	11 (von 26)	Zink . . .	2? (von 27.)
Aluminium.	2? (von 14)		

Aus den Bemerkungen Ångström's, die ich hier folgen lasse, geht hervor, dass ihm die Helligkeit der Linien nicht genügend erschien, um, wie Kirchhoff gethan hatte, die Anwesenheit von Zink aus derselben zu folgern.

„Das Aluminium besitzt an verschiedenen Stellen des Spectrums helle Linien, allein nur diejenigen, welche zwischen den Linien *H* liegen, scheinen mit Fraunhofer'schen Linien zusammenzufallen. Um diese eigenthümliche Erscheinung zu erklären, muss bemerkt werden, dass die violetten Linien die stärksten im Spectrum dieses Metalls sind. Ebenso wie die gelben Natriumlinien zeigen auch diese beiden Aluminiumlinien zuweilen die Absorptionserscheinung, dass in der Mitte jeder der beiden Linien eine dunkle Linie auftritt, was die starke Helligkeit dieser Linien beweist. Durch Beobachtung der nichtvioletten Strahlen dieses Metalls wird man entscheiden können, ob die erwähnten Linien

mit Fraunhofer'schen Linien zusammenfallen oder nicht. Denn wenn meine Annahme richtig ist, so müssen auch die nichtvioletten Strahlen mit dunkeln Linien des Sonnenspectrums zusammenfallen.

„Den beiden Zinklinien, die ich auf meinen Tafeln als mit Fraunhofer'schen Linien zusammenfallend angegeben habe, ist noch eine dritte bei 4809,7 hinzuzufügen, allein die beiden sehr breiten und starken Linien von verschwommenem Ansehen zeigen keine deutliche Uebereinstimmung mit den Fraunhofer'schen Linien, sodass die Gegenwart von Zink in der Sonne sehr zweifelhaft ist. Allerdings muss ich bemerken, dass auch drei Magnesiumlinien von demselben verschwommenen Ansehen existiren, die keine Uebereinstimmung mit den Fraunhofer'schen Linien zeigen, obgleich die Gegenwart von Magnesium in der Sonne keinem Zweifel unterliegt.

§. 3. *Untersuchung der wirklich umgekehrten Linien.*

Das wichtigste Ergebniss der neuern Untersuchungen besteht darin, dass, wenn wir die im Sonnenspectrum umgekehrten Spectra von Metaldämpfen beobachten und die Spectra unter Berücksichtigung der langen und kurzen Linien nach der neuen Methode aufzeichnen, die umgekehrten Linien stets die längsten Linien des Spectrums sind. Diese Thatsache ermöglicht uns eine zuverlässige Controle der Umkehrung von Sonnenlinien und dient als werthvoller Führer bei spectroskopischen Beobachtungen der Chromosphäre und Photosphäre. Es zeigte sich sofort, dass der zuletzt von Thalén veröffentlichten Liste von Elementen, die in der Sonne enthalten, infolge der Anwendung der neuen Methode Zink, Aluminium und wahrscheinlich auch Strontium hinzugefügt werden muss.

Um die Untersuchung unter möglichst günstigen Bedingungen fortzusetzen, müssen vollständige Tafeln der

langen und kurzen Linien aller Elemente angefertigt werden. Zum Zwecke einer vorläufigen Untersuchung war es indess nicht unbedingt erforderlich, die Vollendung vollständiger Tafeln abzuwarten, da die von verschiedenen Beobachtern gegebenen Verzeichnisse von Linien zum Unterscheiden der längsten und kürzesten Linien dienen können, da die bei niedriger Temperatur und bei geringem Procentgehalt oder bei chemischer Verbindung des Dampfs beobachteten Linien stets diejenigen sind, welche im vollständigen Spectrum des reinen, dichten Dampfs als die längsten erscheinen.

Was nun die von verschiedenen Beobachtern veröffentlichten Verzeichnisse und Tafeln von Linien betrifft, so ist bekannt, dass zur Erzeugung der Spectra sehr verschiedene Temperaturen angewandt wurden, indem einige Beobachter den elektrischen Flammenbogen mit einer starken Batterie, andere dagegen den Inductionsfunken mit oder ohne Flasche benutzten. Ausserdem benutzten einige Beobachter zur Erzeugung der Spectra, die sie untersuchten, die Metalle selbst, andere die Chloride derselben.

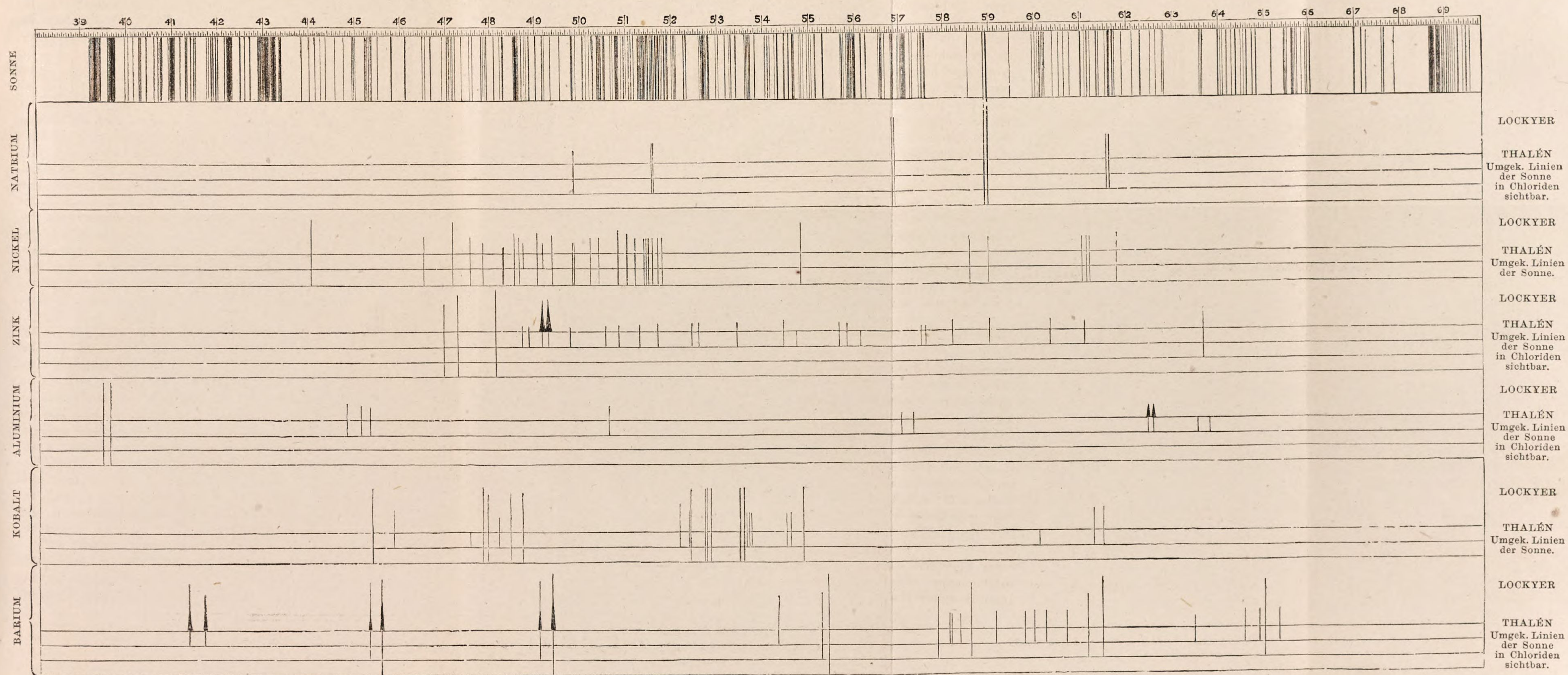
Natürlich musste die Verschiedenheit der Methoden auch Abweichungen in den Resultaten mit sich bringen. Daher findet man bei Vergleichung verschiedener Spectra nicht selten in dem einen grosse Mengen von Linien, die in dem andern fehlen. Vergleicht man verschiedene Tabellen unter Berücksichtigung der angewandten Methoden, so findet man, dass bei Anwendung einer starken Batterie und metallischer Electroden eine grosse, bei Anwendung einer schwachen Batterie und der Chloride dagegen eine geringe Anzahl von Linien beobachtet wurde. Die Listen der letztern Beobachter enthalten daher nur die längsten Linien, da die von ihnen weggelassenen, dagegen von den erstern Beobachtern angegebenen Linien die kürzesten sind.

In denjenigen Fällen, in denen das Spectrum noch nicht nach der neuen Methode aufgenommen worden war, bestimmte ich die längsten Linien in dieser Weise,

LANGE UND KURZE LINIEN IM SONNENSPECTRUM.

(Die längsten Linien der Metallspectra fallen mit den umgekehrten Linien des Sonnenspectrums zusammen.)

VIII.



da es mir wünschenswerth erschien, in Rücksicht auf die zahlreichen unbestimmten Linien die längsten Elementarlinien im Sonnenspectrum aufzusuchen, ohne die Anfertigung vollständiger Tafeln abzuwarten.

§. 4. *Ergebniss der vorläufigen Untersuchung.*

Nach Beendigung einer vorläufigen Untersuchung bemühte ich mich, eine Eigenschaft zu entdecken, durch welche sich die in der Sonne beobachteten Elemente von den noch nicht in derselben aufgefundenen unterscheiden. Ich verfertigte einige Verzeichnisse, in denen die hervorstechendsten chemischen Eigenschaften der Elemente angeführt wurden. Zu diesem Zweck wählte ich eine Anzahl der am besten bekannten Verbindungen eines Elements, wie z. B. die Verbindungen mit Sauerstoff, Schwefel, Chlor, Brom und Wasserstoff, und fügte bei jeder Verbindung die Bemerkung hinzu, ob dieselbe beständig oder unbeständig war. Ebenso ward bemerkt, wo eine Verbindung nicht bekannt war.

Auf diese Weise entwarf ich zwei Tabellen, von denen die eine die nach unsern jetzigen Kenntnissen in der Sonne gegenwärtigen, die andere die in derselben fehlenden Elemente enthielt.

Als Unterschied zwischen beiden Reihen von Verbindungen fand ich die Thatsache, dass diejenigen Elemente, die in der Sonne beobachtet sind, im allgemeinen beständige Sauerstoffverbindungen besitzen. Ich sage ausdrücklich „im allgemeinen“, denn der Unterschied war durchaus nicht durchgreifend, doch immerhin deutlich genug, sodass ich weitere Untersuchungen zu dem Zweck unternahm, um die fehlenden Elemente, die beständige Oxyde bilden, in der Sonne zu entdecken.

Aus diesen Untersuchungen ergab sich sofort, dass dem Verzeichniss Thalén's höchst wahrscheinlich Strontium, Cadmium, Blei, Kupfer, Cerium und Uranium hinzugefügt werden müssen.

Dagegen gelang es nicht, diejenigen Elemente, welche unbeständige Sauerstoffverbindungen bilden, wie Gold, Silber und Quecksilber, in der Sonne zu entdecken.

Dies war im Jahre 1874. Aus diesen Untersuchungen ergab sich also die folgende Tabelle der in der Sonne vorhandenen Metalle:

Natrium.	Kobalt.	Cadmium.
Eisen.	Wassertoff.	Blei.
Calcium.	Magnesium.	Kupfer.
Magnesium.	Titanium.	Cerium.
Chrom.	Strontium.	Uranium.
Nickel.		

§. 5. *Weitere Untersuchungen.*

In der Absicht, eine neue Zeichnung des Sonnenspectrums zu entwerfen, habe ich seit dieser Zeit eine bei weitem genauere Untersuchung ausgeführt. Bei der Ausführung dieser Arbeit wurden die Spectra der meisten metallischen Elemente nach der im dritten Kapitel angeführten Methode direct verglichen. Die folgenden Tabellen geben ein Bild von dem gegenwärtigen (November 1877) Zustand dieser Untersuchung.

Die als Beweis angeführten Linien sind die längsten, die in der photographischen Region der Spectra sichtbar sind, sodass der Umstand, dass sie im Sonnenspectrum umgekehrt sind, als ein unzweifelhafter Beweis für die Gegenwart der entsprechenden Metalle gelten muss. Wo indess nur eine Linie beobachtet ist, wie bei Lithium, Rubidium u. s. w., kann die Anwesenheit der Metalle nur als wahrscheinlich bezeichnet werden, bis das Zusammenfallen einer grössern Anzahl von Linien nachgewiesen ist.

Uebrigens muss man bedenken, dass ausser den langen Linien im Roth, Gelb, oder Orange das Spectrum eines Metalls auch lange Linien in dem bisjetzt unerforschten ultravioletten Theil enthalten kann, sodass die Abwesen-

heit eines Metalls in der Sonne erst dann mit Bestimmtheit behauptet werden kann, bis dieser Theil des Spectrums hinlänglich bekannt ist.

Tabelle I.

Elemente, deren Gegenwart in der umkehrenden Schicht der Sonnenatmosphäre nachgewiesen ist.

Name des Elements.	Beweis.	Beobachter.
Natrium	Umkehrung der Linien <i>D</i> .	S.* K.
Eisen	Umkehrung von 450 Linien.	K.
Calcium	Umkehrung von 75 Linien.	K.
Magnesium	Umkehrung von 4 (3?) Linien.	K.
Chrom	Umkehrung von 18 Linien.	K.
Nickel	Umkehrung von 33 Linien.	K.
Barium	Umkehrung von 11 (von 26) Linien.	K.
Zink **	Umkehrung von 2? (von 27) Linien.	K.
Kobalt	Umkehrung von 19 Linien.	T.
Wasserstoff	Umkehrung aller 4 Linien.	A.
Mangan	Umkehrung von 57 Linien.	A.
Titanium	Umkehrung von 118 Linien.	T.
Aluminium	Umkehrung der beiden längsten Linien bei 3943,30 und 3960,50.	L.
Strontium	Umkehrung von 4 Linien bei 4029,6, 4076,77, 4215,00 und 4607,5.	L.
Blei	Umkehrung von 3 Linien bei 4019,28, 4056,8 und 4061,25.	L.
Cadmium	Umkehrung von 2 Linien bei 4677,0 und 4799,00.	L.

* S. = Stokes. K. = Kirchhoff. A. = Ångström. T. = Thalén. L. = Lockyer.

** Meine Beobachtungen bestätigen die Annahme Kirchhoff's, der das Metall in das Verzeichniss aufnahm, während es Thalén ausschloss.

Name des Elements.	Beweis.	Beobachter.
Cerium	Umkehrung von 2 Linien bei 3928,7 und 4012,0.	L.
Uranium	Umkehrung von 3 Linien bei 3931,0, 3943,0 und 3965,8.	L.
Kalium	Umkehrung von 2 Linien bei 4042,75 und 4046,28 (die einzigen K-Linien in diesem Theil des Spectrums).	L.
Vanadium	Umkehrung von 4 Linien bei 4379,0, 4384,0, 4389,0 und 4407,5.	L.
Palladium	Umkehrung von 5 Linien bei 3893,0, 3958,0, 4787,0, 4817,0 und 4874,0.	L.
Molybdaen	Umkehrung von 4 Linien bei 3902,0, 4576,0, 4706,0 und 4730,0.	L.

Tabelle II.

Elemente, deren Gegenwart in der umkehrenden Schicht der Sonnenatmosphäre wahrscheinlich ist.

Name des Elements.	Beweis.	Beobachter.
Indium	Eine Linie bei 4101,0 fällt mit <i>h</i> zusammen, die man bisher für eine Wasserstofflinie hielt. Die Umkehrung einer zweiten Linie bei 4509,0 ist zweifelhaft.	L.
Lithium	Eine Linie bei 4603,0 ist umgekehrt, dagegen ist die Umkehrung der langen Linie bei 6705 noch nicht beobachtet worden.	L.
Rubidium	Eine Linie bei 4202,0 ist umgekehrt, dagegen sind bisjetzt keine Sonnenlinien beobachtet worden, die den langen, rothen Linien bei 6205 und 6296 entsprechen.	L.

Name des Elements.	Beweis.	Beobachter.
Caesium	Zwei Linien bei 4554,9 und 4592 sind wahrscheinlich umgekehrt, doch ist zur Entscheidung der Frage eine bessere Photographie erforderlich.	L.
Wismuth	Eine Linie bei 4722,0 ist umgekehrt. Weitere Beweise sind erforderlich.	L.
Zinn	Eine Linie bei 4524 ist umgekehrt, doch sind weitere Beweise wünschenswerth.	L.
Silber	Zwei im Metallspectrum umgekehrte Linien bei 4018,0 und 4212,0 sind sehr breit. Ich habe noch keine Zeit gehabt, zu entscheiden, ob sie mit Sonnenlinien zusammenfallen oder nicht. Die Breite der Linien muss zu diesem Zweck durch Legirung des Silbers mit Kupfer vermindert werden.	L.
Beryllium	Eine Linie bei 3904,77 ist umgekehrt. Weitere Beweise erwünscht.	L.
Lanthanium	Drei verschwommene Linien bei 3948,20, 3988,0 und 3995,04 sind umgekehrt.	L.
Yttrium oder Erbium	Zwei Linien bei 3981,87 und 3949,55 sind umgekehrt.	L.

Tabelle III.

Elemente, die nach dem heutigen Stand unserer Kenntnisse in der umkehrenden Schicht der Sonnenatmosphäre fehlen.

Name des Elements.	Beweis.	Beobachter.
Kohlenstoff	Keine mit Kohlenstofflinien zusammenfallenden Sonnenlinien.	A.
Silicium	Keine Umkehrungen beobachtet.	K.

Name des Elements.	Beweis.	Beobachter.
Thallium	Die lange grüne Linie bei 5349 ist nicht umgekehrt.	L.
Chlor } Brom } Iod }	Kein Zusammenfallen von Sonnenlinien mit den hellen Linien des Funkenspectrums zu beobachten.	L.

Die in dieser letzten Tabelle angeführten Resultate sind von besonderm Interesse, da ich Grund zur Annahme habe, dass für Kohlenstoff und Iod einige Coincidenzen mit den Haupttheilen des cannellirten Spectrums vorhanden sind. Dies würde beweisen, dass diese Elemente in einem Theil der Sonnenatmosphäre, der kühler ist und daher höher liegt als die umkehrende Schicht, in einem Zustand grösserer Complexität existiren als die Metaldämpfe jener Schicht.

§. 6. *Mitscherlich's Beobachtungen.*

Dies setzt uns in den Stand, die Bemerkungen Mitscherlich's über das Sonnenspectrum, die er in seiner ersten Abhandlung macht, zu prüfen:

„Diese Versuche zeigen, wie die Spectralanalyse zu einer Kenntniss der gegenseitigen Affinitäten der einfachen Körper bei der Temperatur der Sonnenatmosphäre führen können. Wenn man z. B. im Sonnenlicht das Spectrum des Chlorids eines Erdalkalimetalls beobachtete, so könnte man aus dieser Beobachtung den Schluss ziehen, dass dieses Metall bei der Temperatur der Sonne eine grössere Affinität zum Chlor besitzt als Kalium oder Natrium, da sich diese letztern Metalle im freien Zustand befinden. Umgekehrt kann die Kenntniss der in der Sonnenatmosphäre existirenden Verbindungen zur Kenntniss der Temperatur dieses

Himmelskörpers führen, wenn wir auch selbst nie im Stande sein werden, eine solche Temperatur zu erreichen.

„Die Gegenwart freien Natriums in der Sonnenatmosphäre führt zu der Annahme, dass in derselben keine elektro-negativen Körper, wie Sauerstoff und Schwefel, im freien Zustand existiren, oder doch wenigstens nicht in solcher Menge, um sich mit sämmtlichem Natrium zu verbinden. Ausserdem müssen alle Metalle, die das Natrium aus ihren Verbindungen austreibt, daselbst im freien Zustand existiren.

„Die neuen Spectra, welche ich veröffentlicht habe, können dazu führen, die Gegenwart von Chlor, Brom, Iod, Phosphor u. s. w. in der Sonnenatmosphäre nachzuweisen.

„Andererseits kann man nicht aus dem Fehlen der Linien eines Metalls im Sonnenspectrum auf das Fehlen des Metalls selbst schliessen. Es können Metalle, z. B. das Lithium, in solchen Verbindungen in der Sonne gegenwärtig sein, welche kein Spectrum geben.“

Nach den neuern Untersuchungen ist indess die Erklärung Mitscherlich's unhaltbar. Denn da die Temperatur der Sonne hoch genug ist, dass Wasserstoff und selbst Natrium unverbunden und im glühenden Zustand in der Photosphäre existiren können, so würde dieselbe auch genügen, Verbindungen der Metalloide zu zerlegen und wenigstens die längsten Linien derselben, die selbst die Verbindungen zeigen, zu erzeugen. Es ist indess bisjetzt keine Spur eines Linienspectrums eines Metalloids im Sonnenspectrum beobachtet worden.*

Weiter kann als Beweis, dass keine chemische Verbindung in der Photosphäre gegenwärtig ist, die Structur des Spectrums dienen. Dasselbe würde sicherlich ganz anders beschaffen sein, als es wirklich ist, wenn Verbindungen in der Sonnenatmosphäre vorhanden wären. Das am wenigsten brechbare Ende des Spectrums würde das complicirteste, nicht das einfachste sein. Wenn auch

* Vgl. Ångström, Recherches sur le Spectre solaire, p. 37.

in neuerer Zeit Professor Young im Spectrum eines Sonnenfleckens Erscheinungen beobachtet hat, die für die Existenz von Verbindungen in den Flecken sprechen, so sprechen doch im allgemeinen die Thatsachen für das Gegentheil. Ich habe bei allen meinen Beobachtungen der Sonnenflecken nichts wahrgenommen, was an das Spectrum einer chemischen Verbindung erinnerte. Indess betrachte ich die Frage nicht für endgültig entschieden, sondern werde dieselbe, sobald sich Gelegenheit bietet, durch Photographiren eines Sonnenfleckens zu entscheiden suchen.

Weiter will ich noch bemerken, dass uns nach dem heutigen Stand unserer Kenntnisse die Beobachtungen Secchi's über die Sternspectra in den Stand setzen, zu erkennen, ob die Atmosphäre eines Sterns zusammengesetzte Moleküle enthält, da sich dieselben leicht durch die Beschaffenheit des Spectrums bemerklich machen. Einige Sterne, deren Spectra von Secchi gezeichnet worden sind, enthalten nach meiner Ansicht ohne Zweifel zusammengesetzte Moleküle, und es ist möglich, dass die Erscheinungen der veränderlichen Sterne mit einem empfindlichen Gleichgewichtszustand in der Atmosphäre in Zusammenhang stehen, sodass wir zu einer Zeit die schwache Linienabsorption der unverbundenen, zu einer andern Zeit dagegen die starke Bandenabsorption der verbundenen Elemente in ihren Atmosphären beobachten. Dieselbe Folgerung, die ich aus meinen Beobachtungen über lange und kurze Linien zog, hat bereits früher Ångström aus andern Gründen gewonnen. Die Ansicht Secchi's, dass wir in solchen Sternen ein Vorherrschen des Fleckenspectrums haben, ist nach meiner Ansicht unhaltbar. Indess ist die Frage nach der Natur der veränderlichen Sterne noch keineswegs abgeschlossen.

NAMEN- UND SACHREGISTER.

Absorptionserscheinungen 34.
59. 67. 122. 123.

Aether 21. 34.

Aluminium 209.

Amalgame, Versuch mit denselben 191.

Ångström 122. 133. 189. 217.

Atmosphäre und Schall 21.

— der Sterne 228.

Atom, Definition desselben 102.

Atome, Fundamentallinien desselben 187.

Barium 142.

Becquerel 72. 86.

Binäre Verbindungen, Spectra desselben 172.

Blei 134.

Bleisalze 141.

Bunsen 162. 182.

Bunsen'scher Brenner 51.

Cadmium 132. 134. 201.

Calcium 174. 209.

—, Dissociation desselben 179.

Calcium und Strontium, Vergleichung ihrer Spectra 208. 210.

Chloride und Metalle, Verschiedenheit der Spectra desselben 137.

Chrom in der Sonne 215.

Chromosphäre 40. 133. 185.

Clerk-Maxwell 103. 106.

Clifford 104.

Clifton 164.

Daguerreotypie 70.

Degradation des Lichts 76.

Diacon 164. 168.

Dispersion, normale und abnorme 29.

Dissociation der Elemente 172.

— durch Wärme 54. 171.

Draper 72. 74. 86.

Druck, Einfluss desselben auf das Spectrum 185.

Eisen- und Calciumspectrum 212.

Eisenspectrum, verglichen mit dem Sonnenspectrum 88.

Elektricität, Wirkung derselben 155.
 — und Wärme, Verschiedenheit der Wirkung 156.
 — und Molekularschwingung 120.
 Elektrische Lampe 19. 49.
 Elemente, chemische 151.
 —, Spectrum derselben 165.
 —, Dissociation derselben 172.
 Emanationstheorie 21.

Farbenerscheinungen 19.
 Fluorescenz 75. 78.
 Frankland 67. 185.
 Fraunhofer'sche Linien 215.
 Funken, Photographie des elektrischen 120.

Gase, Wirkung des elektrischen Stroms auf 19.
 —, kinetische Theorie der 105. 110.
 Goldkupferlegirungen 198.
 Goldprobe, Vorzüge der alten und der neuen 204.

Herschel, J. 71, 84.
 Hittorf 183.

Kirchhoff 122. 162. 165. 182.
 Klangfarbe 16.
 Knallgasgebläse 64.
 Kupferlegirungen 198.
 Kupferspectrum 137.

Legirungen, Untersuchung derselben 190.
 Licht und Schall, Analogie zwischen 30. 31. 35.
 Lichtwellen, Länge derselben 24.

Lichtquellen 18.
 Lithiumsalze 144.
 Linienspectra, Erzeugung derselben durch Elektricität 110.
 Linse, Anwendung derselben am Spectroskop 43.
 Luft, Verdichtung und Verdünnung bei Schallwellen 14.

Magnesium 143.
 — in der Sonne 133. 185.
 Mascart 83. 129.
 Massentheilchen, Schwingungen zusammengesetzter 124.
 Mechanische Gemenge 190.
 Metalle, Spectra derselben 159. 161.
 Metalle und Metalloide, Verbindungen der 140. 160.
 Metaldämpfe in der Sonne 214.
 Metalloide, Spectra der 125. 160.
 Metallverbindungen, Spectrum der 164.
 Miller 79. 131.
 Mitscherlich 164. 167. 226.
 Molekularbeschaffenheit und Spectrum 110.
 Molekül, Definition desselben 103.
 Moleküle, Bewegung derselben in festen, flüssigen und gasförmigen Körpern 104.
 —, Schwingung derselben 108. 152.
 —, Zusammenstöße derselben 105.

Natrium in der Sonne 214.
 Natriumspectrum 144. 165.
 Newton 2. 21. 28.
 Nickel in der Sonne 215.

- P**hotographie des Spectrums 70.
 — des Sonnenspectrums 84.
 — der Sternspectra 97.
 Photographische Platte 17.
 Photosphäre, Beschaffenheit der 227.
 Plücker 185.
 Prisma 27.
- R**obinson 132.
 Roscoe 164. 165.
 Rutherford 84.
- S**alet 121.
 Salze, Spectra derselben 52. 140.
 Schall, Geschwindigkeit desselben 25.
 Schallwellen 8.
 Secchi 228.
 Silberlegirungen, Spectrum derselben 196.
 Sonne, Constitution der 214.
 —, Temperatur der 227.
 Sonnenatmosphäre 215.
 Sonnenspectrum 77.
 —, Photographie desselben 84. 91.
 —, Charakter der Linien im 173.
 Spalt, zusammengesetzter 86.
 Spectrallinien, lange und kurze 131.
 Spectroskop 2. 42.
 Spectrum, continuirliches und Bandenspectrum 158.
- Spectrum, continuirliches 40.
 —, cannellirtes 41.
 — der Metalle und Metalloide 119.
 —, ultraviolettes 75.
 — zusammengesetzter Körper 171.
 Spottiswood 24.
 Sprengel'sche Pumpe 68.
 Sternspectra, Photographie der 97.
 Stokes 75. 78. 122. 131.
 Strahlungserscheinungen 51. 109.
 Strontium 142.
- T**emperatur und Länge der Linien 168.
 Thomson 76. 157.
 Töne, musikalische 25.
- U**ltraviolettes Spectrum 75.
 Umkehrende Schicht der Sonnenatmosphäre 223.
- W**ärme, Dissociation durch 171.
 —, verschiedene Stufen 112.
 Wasserstoff in der Sonne 184.
 Wasserwellen 5.
 Weinhold 11.
 Wollaston 86.
- Z**ink 134.
 Zinkcadmiumlegirungen 202.

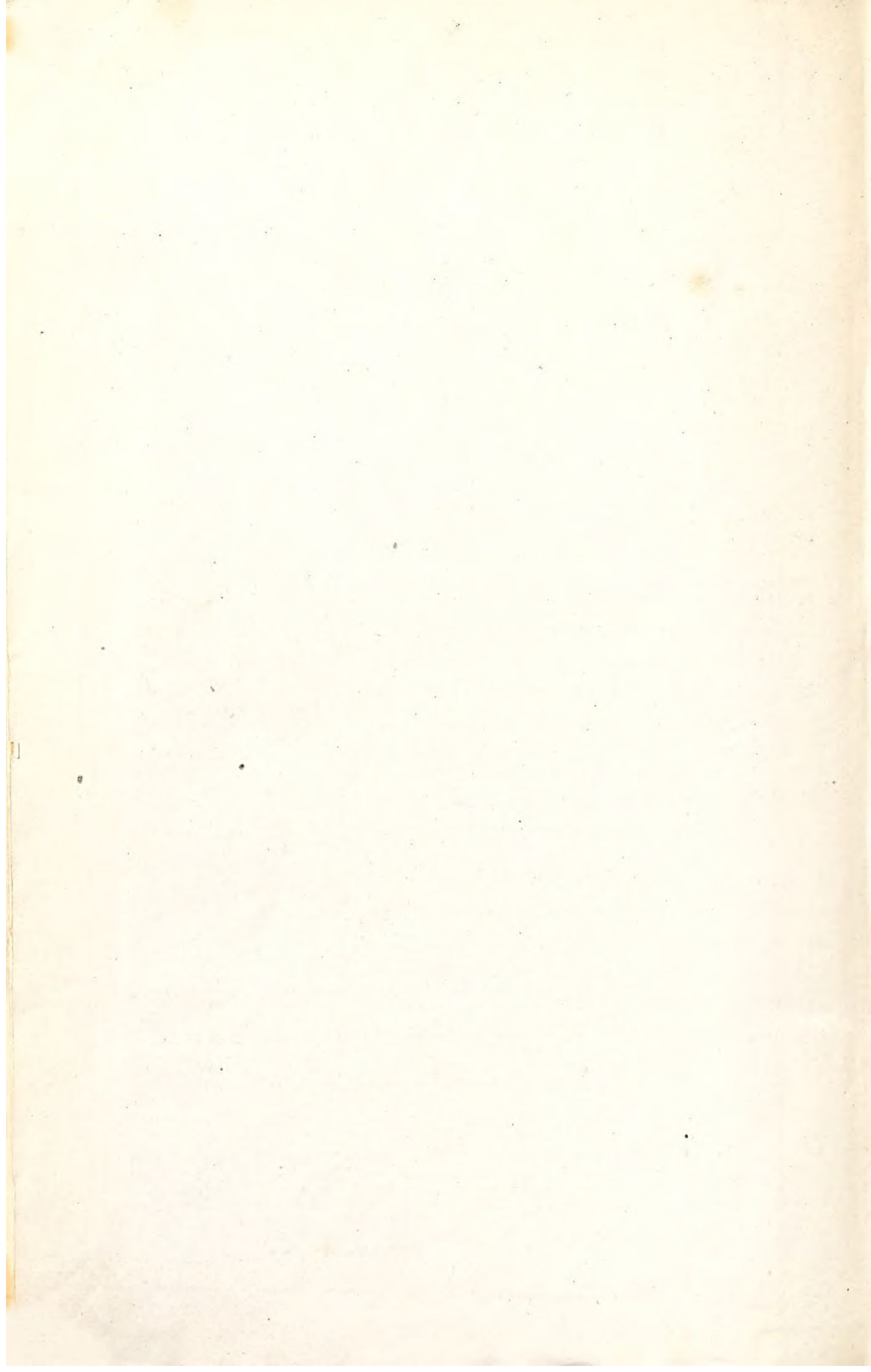
Verlag von F. A. Brockhaus in Leipzig.

INTERNATIONALE WISSENSCHAFTLICHE BIBLIOTHEK.

1. TYNDALL, J. Das Wasser in seinen Formen als Wolken und Flüsse, Eis und Gletscher. Mit 26 Abbildungen. 2. verbesserte Auflage. Geh. 4 M. Geb. 5 M.
2. SCHMIDT, O. Descendenzlehre und Darwinismus. Mit 26 Abbildungen. 2. verbesserte Auflage. Geh. 5 M. Geb. 6 M.
3. BAIN, A. Geist und Körper. Die Theorien über ihre gegenseitigen Beziehungen. Mit 4 Abbildungen. Geh. 4 M. Geb. 5 M.
4. BAGEHOT, W. Der Ursprung der Nationen. Betrachtungen über den Einfluss der natürlichen Zuchtwahl und der Vererbung auf die Bildung politischer Gemeinwesen. Geh. 4 M. Geb. 5 M.
5. VOGEL, H. Die chemischen Wirkungen des Lichts und die Photographie in ihrer Anwendung in Kunst, Wissenschaft und Industrie. Mit 96 Abbildungen in Holzschnitt und 6 Tafeln, ausgeführt durch Lichtpausprocess, Reliefdruck, Lichtdruck, Heliographie und Photolithographie. Geh. 6 M. Geb. 7 M.
6. 7. SMITH, E. Die Nahrungsmittel. Zwei Theile. I. Feste Nahrungsmittel aus dem Thier- und Pflanzenreich. II. Flüssige und gasige Nahrungsmittel. Mit 19 Abbildungen. Jeder Theil geh. 4 M., geb. 5 M.
8. LOMMEL, E. Das Wesen des Lichts. Gemeinfassliche Darstellung der physikalischen Optik. Mit 188 Abbildungen und einer Spectraltafel. Geh. 6 M. Geb. 7 M.
9. STEWART, B. Die Energie, das Grundgesetz der heutigen Naturlehre, gemeinfasslich dargestellt. Mit 14 Abbildungen. Geh. 4 M. Geb. 5 M.
10. PETTIGREW, J. B. Die Ortsbewegung der Thiere. Nebst Bemerkungen über die Luftschiffahrt. Mit 131 Abbildungen. Geh. 4 M. Geb. 5 M.
11. MAUDSLEY, H. Die Zurechnungsfähigkeit d. Geisteskranken. Geh. 5 M. Geb. 6 M.
12. BERNSTEIN, J. Die fünf Sinne des Menschen. Mit 91 Abbild. Geh. 5 M. Geb. 6 M.
13. DRAPER, J. W. Geschichte der Conflicte zwischen Religion und Wissenschaft. Geh. 6 M. Geb. 7 M.
14. 15. SPENCER, H. Einleitung in das Studium der Sociologie. Herausgegeben von Dr. Heinrich Marquardsen. Zwei Theile. Jeder Theil geh. 4 M., geb. 5 M.
16. COOKE, J. Die Chemie der Gegenwart. Mit 31 Abbildungen. Geh. 5 M. Geb. 6 M.
17. FUCHS, K. Vulkane und Erdbeben. Mit 36 Abbildungen und einer lithographirten Karte. Geh. 6 M. Geb. 7 M.
18. VAN BENEDEN, P. J. Die Schmarotzer des Thierreichs. Mit 83 Abbildungen. Geh. 5 M. Geb. 6 M.
19. PETERS, K. F. Die Donau und ihr Gebiet. Eine geologische Skizze. Mit 71 Abbildungen. Geh. 6 M. Geb. 7 M.
20. WHITNEY, W. D. Leben und Wachsthum der Sprache. Uebersetzt von Prof. A. Leskien. Geh. 5 M. Geb. 6 M.
21. JEVONS, W. S. Geld und Geldverkehr. Geh. 5 M. Geb. 6 M.
22. DUMONT, L. Vergnügen und Schmerz. Zur Lehre von den Gefühlen. Geh. 5 M. Geb. 6 M.
23. SCHÜTZENBERGER, P. Die Gärungserscheinungen. Mit 28 Abbildungen. Geh. 5 M. Geb. 6 M.
24. BLASERNA, P. Die Theorie des Schalls in Beziehung zur Musik. Geh. 4 M. Geb. 5 M.
25. BERTHELOT, M. Die chemische Synthese. Geh. 5 M. Geb. 6 M.
26. LUYSS, J. Das Gehirn, sein Bau und seine Verrichtungen. Mit 6 Abbildungen. Geh. 5 M. Geb. 6 M.
27. ROSENTHAL, I. Allgemeine Physiologie der Muskeln und Nerven. Mit 75 Abbildungen. Geh. 5 M. Geb. 6 M.
28. BRÜCKE, E. Bruchstücke aus der Theorie der bildenden Künste. Mit 39 Abbildungen. Geh. 4 M. Geb. 5 M.
29. MEYER, H. Grundzüge des Strafrechts nach der deutschen Gesetzgebung unter Berücksichtigung ausländischer Rechte. Geh. 5 M. Geb. 6 M.
30. 31. QUATREFAGES, A. DE. Das Menschengeschlecht. Jeder Theil geh. 4 M. 50 Pf., geb. 5 M. 50 Pf.
32. 33. BÖHMERT, V. Die Gewinnbetheiligung. Untersuchungen über Arbeitslohn und Unternehmergewinn. Zwei Theile. Jeder Theil geh. 5 M. 50 Pf.; geb. 6 M. 50 Pf.
34. SECCHI, A. Die Sterne. Grundzüge der Astronomie der Fixsterne. Mit 78 Abbildungen und 9 Tafeln. Geh. 8 M. Geb. 9 M.

Unter der Presse:

- HARTMANN, R. Die afrikanischen Negerrassen. Mit Abbildungen.
SEMPER, C. Die natürlichen Existenzbedingungen der Thiere. Eine allgemeine Physiologie thierischer Organismen. Mit Abbildungen.
VIGNOLI, F. Ueber das Fundamentalgesetz der Intelligenz im Thierreich. Versuch einer vergleichenden Psychologie.
THURSTON. Geschichte der Entwicklung der Dampfmaschine. Mit Abbildungen.
WURTZ. Die Atome und die atomistische Theorie.





Lockyer, Norman

Studien zur Spectralanalyse

Leipzig 1879

Math.a. 157 rf

urn:nbn:de:bvb:12-bsb11390560-8